

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

НАО Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова  
Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Исмаилов Хамит Омардиярулы

«Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Специальность 6М073700- «Обогащение полезных ископаемых»

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
НАО Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова  
Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.75/.77(043)

На правах рукописи

Исмайлов Хамит Омардиярулы

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Бактериальное окисление железа в  
растворах уранового рудника

Направление подготовки

6M073700 - Обогащение полезных  
ископаемых

Научный руководитель:

Кандидат технических наук,  
профессор Г.С. Турысбекова  
«04» 06 2019г.

Рецензент:

Кандидат технических наук, начальник  
отдела ИВТ «НАК  
Казатомпром» Д.К. Кайпбаев  
«03» 06 2019г.

Нормоконтроль:

Доктор PhD, лектор  
И.Ю. Мотовилов  
«3» 06 2019г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
заведующая кафедрой МиОПИ,  
кандидат технических наук  
М.Б. Барменшинова  
«03» 06 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

НАО Казахский национальный исследовательский технический  
университет имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

6M073700 – Обогащение полезных ископаемых

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующая кафедрой МиОПИ,  
Кандидат технических наук

*Барменшинова* М.Б. Барменшинова  
« 03 » 06 2019г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Исмайлову Хамиту Омардиярулы:

Тема: Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника

Утверждена приказом Ректора Университета №1597-п от «30» 10 2017г.

Срок сдачи законченной диссертации « 03 » 06 2019 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: окисление железа в  
растворах уранового рудника

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) современное состояние рассматриваемой проблемы необходимости Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника*
- б) выбор и обоснование метода Бактериального окисления трех валентного железа;*
- в) специальная часть магистерской диссертации;*
- г) вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда;*
- д) удельный расход экономической эффективности разработки.*

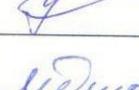
Перечень графического материала: слайды

**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю и консультантам	Примечание
Введение	07.02.2019	
Аналитический обзор литературы	15.02.2019	
Методика исследований	18.04.2019	
Экспериментальная часть	01.05.2019	
Заключение	23.05.2019	

**Подписи**

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

Наименование раздела	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	подпись
Введение	Турсыбекова Г.С. к.т.н, профессор	07.02.2019	
Аналитический обзор литературы		15.02.2019	
Методика исследований		18.04.2019	
Экспериментальная часть		01.05.2019	
Заключение		23.05.2019	
Нормоконтролер	Мотовилов И.Ю. доктор PhD	03.06.2019	

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Турсыбекова Г.С.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_ Исмаилов Х.О.

Дата «03» 06 2019 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Исмайлов Хамит Омардиярулы

по специальности 6М073700 – Обогащение полезных ископаемых

на тему: «Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника».

Выполнено:

а) графическая часть на 70 листах

б) пояснительная записка на 23 страницах

### ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ:

Диссертационной работе проведены анализ научно технической литературы и методика исследований по теме диссертации. Показаны актуальность использования бактериального окисления железа. Показаны технологические параметры и схема.

Добыча урана осуществляется методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Горно-подготовительные работы включают в себя: вскрытие продуктивного горизонта бурением и сооружением технологических скважин, наземная трубная обвязка с установкой раствороподъемного оборудования и электроснабжение, закисление горнорудной массы технологических блоков. Эксплуатация технологических блоков предусматривает: извлечение (подъем) на поверхность продуктивных растворов, их транспортировка на сорбционные колонны и возврат маточников (отсорбированных растворов) с регламентированной подготовкой (подкислением) опять в недра.

Однако, процессы подземного выщелачивания урана связаны со значительными эксплуатационными затратами. Одной из причин высоких эксплуатационных затрат является перевод двухвалентное железо на трехвалентное состояние, что бы перевести четырех валентного урана на шести валентного урана с помощью перекиси водорода. Перексид водорода является дорогостоящим соединением, а его подача в технологический процесс связана со значительными эксплуатационными и транспортными расходами. В связи с этим, в настоящее время проводится исследования по изучению возможности замены перекиси водорода на более дешевые и эффективные методы использования процессов биохимического выщелачивания при переработке бедных урановых руд. Одним из них может служить процесс бактериальное выщелачивание. Окисление закисного железа для *A. ferrooxidans* и окисление серы для *A. thiooxidans* являются, как известно, энергетическими процессами, необходимыми для их жизнедеятельности. Эти микроорганизмы способны окислять различные сульфидные минералы. В результате этих процессов образуется

трехвалентное железо и серная кислота. Полученное  $Fe^{3+}$  окисляет  $U^{4+}$  до  $U^{6+}$ , который растворим в сернокислых растворах.

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

К магистерской диссертации имеется ряд замечаний:

1) В диссертационной работе отсутствуют результаты по математическому моде.

### ОЦЕНКА РАБОТЫ

Приведенное замечание не снижает теоретическую и практическую ценность диссертационной работы Исмаилов Х.О.

Представленная к защите диссертационная работа на тему «Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника» является цельным законченным исследованием.

В целом работа выполнена на современном научном уровне, по своей актуальности, научной и технологической новизне, практической ценности отвечает всем требованиям, предъявляемым к магистерской диссертации, и заслуживает оценки «отлично». При этом сам автор Исмаилов Хамит Омардиярулы заслуживает присуждения ему академической степени магистра по специальности 6М073700 – «Обогащение полезных ископаемых»

Рецензент Дюсетай Кайпбаев Дюсетай Кайпбаевич

Занимаемая должность: начальник отдела ИВТ «НАК Казатомпром»,  
кандидат технических наук.

«03» 06 2019 г.

## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

Исмайлова Хамита Омардиярулы

по специальности 6М073700 – «Обогащение полезных ископаемых»

на тему: «Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника»

Исследования, послужившие основой магистерской диссертации, выполнялись в течение четырех лет с начала работы по данной спецификации.

При выполнении работы использовались новые методики исследования состава урановых рудников. Цель и задачи магистерской диссертации заключается в исследовании возможности использования Бактериального окисления железа в растворах уранового рудника из отработанных залежей месторождения Буденновское.

Полученные результаты, в своей совокупности, представляют решение актуальной научной задачи, исследования закономерностей и совершенствования добычи урановых руд, с использованием биотехнологических методов. Использование бактериального окисления двухвалентного железа до трехвалентного, позволяет повышать окислительно-восстановительный потенциал раствора и позволяет перевести уран из слаборастворимой четырехвалентной формы в шестивалентную растворимую форму.

Практическая ценность работы заключается в создании комплекса геотехнологических приемов, способов и рекомендаций с целью усовершенствования биогеотехнологии подземного выщелачивания урана. Также увеличение эффективности опытно-промышленных работ по доизвлечению урана из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов.

Научная новизна работы состоит в повышении геотехнологической эффективности работ на урановых месторождениях инфильтрационного типа путем совершенствования методики расчета геолого-геотехнологических параметров рудовмещающих пород к подсчету запасов урана по данным ГИС. Добыча урановых руд, является техникой и экономически выгодной для страны. Конечным результатом исследования стала разработанная технология добычи урановых руд АО «СП «Акбастау» месторождения Буденновское.

Все вопросы, поставленные в магистерской диссертации, решены с достаточной полнотой, поэтому данную работу можно считать законченной научно-исследовательской работой.

Основные результаты работы опубликованы в научных журналах.

Исмаилов Х. О. на данный момент занимает должность Оператора ГС в АО «НАК «Казатомпром», что и подвигло его на исследование данной темы. Будучи студентом второго курса, он в настоящее время обладает достаточной квалификацией для самостоятельного проведения научно-исследовательских работ в области добычи урановых руд.

Таким образом, по совокупности признаков магистерская диссертация соответствует предъявляемым требованиям, а магистрант Исмаилов Хамит Омардиярулы

– заслуживает присуждения ему ученой степени магистра по специальности 6М073700 – «Обогащение полезных ископаемых».

Научный руководитель

Кандидат технических наук, профессор \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Турысбекова Г.С.

« 04 » июне \_\_\_\_\_ 2019 г.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Исмаилов Хамит Омардиярулы

**Название:** Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника

**Координатор:** Гаухар Турысбекова

**Коэффициент подобия 1:** 18,6

**Коэффициент подобия 2:** 12,6

**Тревога:** 70

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе замеченные  
являются добросовестными и не обладают  
признаками плагиата. В связи с тем, работа  
признается самостоятельной и допускается  
к защите.

3.06.2019

Дата

Барменников М.Б. 

Подпись Научного руководителя

## Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Исмаилов Хамит Омардиярулы

**Название:** Бактериальное окисление железа в растворах уранового рудника

**Координатор:** Гаухар Турысбекова

**Коэффициент подобия 1:** 18,6

**Коэффициент подобия 2:** 12,6

**Тревога:** 70

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

3.06.2019

Барменшиков М.Б. 

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите

.....  
.....  
.....  
.....

3.06.2019

Бурменщиков М.Б. 

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

## АҢДАТПА

Магистрлік диссертацияның мақсаты мен міндеттері - Буденовское кен орнының уранды минералды ерітінділерде темірдің бактериалды тотығу мүмкіндігін зерттеу. Зерттеу мақсатына қол жеткізу үшін бірқатар мәселелерді шешу қажет болады, атап айтқанда:

– Зерттелген аудандарда белсенді микроорганизмдердің табиғи геохимиялық бірлестіктерін зерттеу әдістерін таңдау.

Жұмыс ерітіндісінде 9К орта жұмысының ерітіндісіне 1:1 қатынасында енгізілген кезде «жабайы» ортада белсенді түрде дами бастайтын темір-тотықтырғыш бактериялар.

Биотехнологиялық әдістер екі валентті темірдің бактериалды тотығуы үшін үш валентке қолданылады, бұл ерітіндінің реакциясының белсенді арттырады және уранның аздап еритін тегіс формасынан алты валентті еритін түрге айналуға мүмкіндік береді.

Силлман және Лундгрэн ортасын (9К орта) бейімдеу және биомассаны өндіріс шешімдеріне қосу арқылы зертханалық жағдайларда биомассаны өсіру. Үш валентті темірдің тотығуын жүзеге асыратын оңтайлы параметрлерді анықтап. Тотығу индукцияланатын агентті (AFP) тоқтату арқылы анықтаймыз.

## АННОТАЦИЯ

Цель и задачи магистерской диссертации заключается в исследовании возможности Бактериального окисления железа в растворах уранового рудника из отработанных залежей месторождения Буденновское. Для достижения цели исследований потребовалось решить ряд задач, а именно:

– Выбор методик исследования природных геохимических ассоциации активных микроорганизмов в исследуемых участках.

В рабочем растворе присутствует достаточно активная «дикая» культура железоокисляющих бактерий, которая начинает развиваться при внесении в рабочий раствор среды 9К в соотношении 1:1.

Использование биотехнологических методов для бактериального окисления двухвалентного железа до трехвалентного позволяет повысить окислительно-восстановительный потенциал раствора и позволяет перевести уран из слаборастворимой четырехвалентной формы в шестивалентную растворимую форму.

Культивирование биомассы лабораторных условиях с приготовлением среды Силвермана и Лундгрена (среда 9К), адаптация и активация биомассы к производственным растворам. Определение оптимальных параметров, проведения окисления двухвалентного железа. Определение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) растворов.

## ABSTRACT

The purpose and objectives of the master's thesis is to study the possibility of bacterial oxidation of iron in uranium mine solutions from waste deposits of the Budennovskoye deposit. To achieve the goal of research it was necessary to solve a number of problems, namely:

- The choice of methods for studying the natural geochemical associations of active microorganisms in the studied areas.

In the working solution, there is a rather active “wild” culture of iron-oxidizing bacteria, which begins to actively develop when introduced into the working solution of the 9K medium in a 1:1 ratio.

Biotechnological methods are used for the bacterial oxidation of bivalent iron to trivalent, which increases the redox potential of the solution and allows uranium to be converted from a slightly soluble tetravalent form to a hexavalent soluble form.

The cultivation of biomass in laboratory conditions with the preparation of Silverman and Lundgren medium (9K medium) adaptation and activation of biomass to the production solutions. Determine the optimal parameters, carrying out the oxidation of three valence iron. Determine through stoppage of the oxidatively inducing agent (AFP).

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Введение	9
1 Актуальность диссертационной работы	13
2 Технологическая часть метод исследование	16
2.1 Лабораторные исследование	16
2.2 Методика исследование	17
2.2.1 Приготовление среды 9К Сильвермена и Люндгрена	23
2.2.2 Адаптация и активация бактерии	23
2.2.3 Технологически схема процесса	37
3 Экономическая часть	54
4 Техника безопасности и охрана окружающей среды	58
Заключение	69
Список использованной литературы	70

## ВВЕДЕНИЕ

План развития горных работ на 2017 год по участку №4 месторождения Буденновское составлен согласно приказу АО «СП «Акбастау» «О разработке Планов развития горных работ на участках № 1, 3 и 4 месторождения Буденновское на 2017 год».

Плановая добыча металла в 2017 году на участке №4 месторождения Буденновское – 384,0 тонн в виде закиси-окиси природного урана (ЗОУ). Прирост запасов, готовых к добыче – 366 тонн; соответствует нормативу обеспеченности запасов этой категории – 1,6 при плановой добыче урана в 2016 году - 387,9 тонн в товарном десорбате (ТД). АО «СП «Акбастау» занимается добычей урана на участке №4 месторождения Буденновское с 2012 года.

Добыча урана осуществляется методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Горно-подготовительные работы включают в себя: вскрытие продуктивного горизонта бурением и сооружением технологических скважин, наземная трубная обвязка с установкой раствороподъемного оборудования и электроснабжение, закисление горнорудной массы технологических блоков. Эксплуатация технологических блоков предусматривает: извлечение (подъем) на поверхность продуктивных растворов, их транспортировка на сорбционные колонны и возврат маточников (отсорбированных растворов) с регламентированной подготовкой (подкислением) опять в недра.

При наличии в выщелачиваемых рудах четырехвалентного урана, слабо растворимого в разбавленных растворах серной кислоты, требуется добавление окислителя для интенсификации процесса ПВ. В качестве его могут быть использованы кислород, перманганат, перекись водорода, азотсодержащие, хлорсодержащие окислители и другие. Промышленное применение нашли  $MnO_2$  (в виде пиролюзита), азотная кислота (мельчайшие соли трехвалентного железа, хлорат натрия, кислород, перекись водорода, известны также способы бактериального выщелачивания автотрофными бактериями урановых руд. Как самый оптимальный вариант мы выбрали бактериальный выщелачивания.

Бактериальное выщелачивание металлов (a. bacterial lixiviation, bacterial leaching; н. bakterielle Auslaugung; ф. lessivation bacterienne, lessivage bacterien; и. lixiviacion bacteriana) – извлечение химических элементов из руд, концентратов и горных пород с помощью бактерий или их метаболитов. Большая часть совмещается с выщелачиванием слабыми растворами серной кислоты бактериального и химического происхождения, а также растворами, содержащими органические кислоты, белки, пептиды, полисахариды и т.д.

В 1947 американскими микробиологами выделен из рудничных вод ранее неизвестный микроорганизм *Thiobacillus* (Th.) *ferrooxidans*, который окисляет практически все сульфидные минералы, серу и ряд её восстановленных соединений, закисное железо, а также  $Cu^+$ ,  $Se^{2-}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $U^{4+}$

при pH 1,0-4,8 (оптимум 2,0-3,0) и t 5-35°C (оптимум 30-35°C). Число клеток этих бактерий в зоне окисления сульфидных месторождений достигает 1 млн - 1 млрд. в 1 г руды или 1 мл воды.

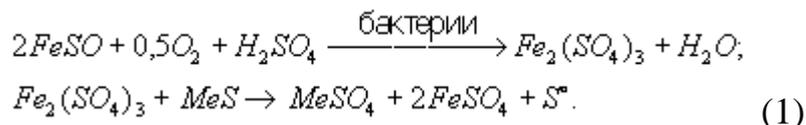
Выщелачивание меди с помощью *Th. ferrooxidans* запатентовано в США в 1958 (С. Циммерлей и др.). В СССР исследования начаты в конце 50-х годов. Позже было показано, что в сульфидных рудах распространены и другие бактерии, окисляющие  $Fe^{2+}$ , S0 и сульфидные минералы, – *Leptospirillum* (L.) *ferrooxidans*, *Thiobacillus organopatus*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Sulfobacillus* (S.) *thermosulfidooxidans* и др. *L. ferrooxidans* окисляет  $Fe^{2+}$ , а при совместном присутствии с *Th. thiooxidans* или *Th. organoparus* – сульфидные минералы при pH 1,5-4,5 (оптимум 2,5-3,0) и t около 28°C *S. thermosulfidooxidans* окисляет  $Fe^{2+}$ , S0 и сульфидные минералы при pH 1,9-3,5 и t 50°C. Ряд других термофильных бактерий окисляет Fe, S и сульфидные минералы при pH 1,4-3,0 и t 50-80°C. Процессы окисления неорганических субстратов служат для этих бактерий единственным источником энергии. Углерод для синтеза органических веществ клеток они получают из CO<sub>2</sub>, а другие элементы – из руд и растворов.

При бактериальном выщелачивании руд цветных металлов широко используются тионовые бактерии *Th. ferrooxidans*, которые непосредственно окисляют сульфидные минералы, серу и железо и образуют химический окислитель  $Fe^{3+}$  и растворитель – серную кислоту. Поэтому расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при бактериальном выщелачивании снижается.  $Fe^{3+}$  - основной окислитель при выщелачивании руд урана, ванадия, меди из вторичных сульфидов и других элементов.

Скорость окисления сульфидных минералов в присутствии бактерий возрастает в сотни и тысячи раз, а  $Fe^{2+}$  примерно в 2 - 10<sup>5</sup> раз по сравнению с химическим процессом. Селективность процесса бактериального выщелачивания цветных металлов определяется как кристаллохимическими особенностями сульфидов, так и их электрохимическим взаимодействием. Редкие элементы входят в кристаллические решётки сульфидных минералов или вмещающих пород и при их разрушении переходят в раствор и выщелачиваются. Следовательно, в выщелачивании редких элементов бактерии играют косвенную роль.

Бактериальным выщелачиванием можно пользоваться при всех способах выщелачивания, не связанных с повышенными давлениями и температурой. Наиболее широко для бактериального выщелачивания применяют тионовые бактерии: *Thiobacillus ferrooxidans*, способные окислять сульфидные минералы и закисное железо до окисного (так называемые железобактерии), и *Th. thiooxidans* (так называемые серобактерии). Тионовые бактерии являются хемоавтотрофами, то есть, единственный источник энергии для их жизнедеятельности – процессы окисления закисного железа, сульфидов различных металлов и элементарной серы. Эта энергия расходуется на усвоение углекислоты, выделяемой из атмосферы или из руды.

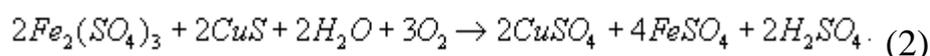
Получаемый углерод идёт на построение клеточной ткани бактерий. *Th. ferrooxidans* окисляют сульфидные минералы до сульфатов прямым и косвенным путём (когда микроорганизмы окисляют серноокислое закисное железо до окисного, являющегося сильным окислителем и растворителем сульфидов):



Важнейший фактор бактериального выщелачивания – быстрая регенерация серноокислого окисного железатионовыми бактериями (*Th. ferrooxidans*), что в некоторых случаях ускоряет процессы окисления и выщелачивания. Оптимальная температура для развития тионовых бактерий 25– 35°C, а pH от 1,5 до 2,5. Тионовые бактерии ускоряют растворение халькопирита в 12 раз, арсенонирита и сфалерита в 7 раз, ковелина и борнита в 18 раз по сравнению с обычными химическими методами.

В значительных промышленных масштабах бактериальное выщелачивание применяется для кучного извлечения полезных ископаемых (меди и урана) из руд на месте их залегания. Например, экономически целесообразно извлекать бактериальным выщелачиванием медь из забалансовых сульфидных руд. Это осуществляется водными растворами  $Fe_2(SO_4)_3$  в присутствии  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$  и тионовых бактерий *Th. ferrooxidans*.

Раствор подаётся по шлангам в скважины, пробурённые в рудном теле (2); бактерии и сульфат окиси железа окисляют сульфиды меди по схеме:



По горным выработкам раствор из рудного тела подают на цементационную или др. установку для извлечения меди (см. Гидрометаллургия).

В различных странах ведутся исследования по выщелачиванию с участием тионовых бактерий для извлечения мн. металлов (Zn, Co, As, Mn и др.). Ведутся работы по выявлению бактерий иных видов для извлечения др. полезных ископаемых. Например, для растворения и извлечения золота предложено использовать гетеротрофные бактерии *Aeromonas*, выделенные из рудничных вод золотоносных приисков.

Простота аппаратуры для бактериального выщелачивания, возможность быстрого размножения бактерий, особенно при возвращении в процесс отработанных растворов, содержащих живые организмы, открывает возможность не только резко снизить себестоимость получения ценных полезных ископаемых, но и значительно увеличить сырьевые ресурсы за счёт использования бедных, забалансовых и потерянных (например, в целиках)

руд в месторождениях, отвалов из отходов обогащения, пыли, шлаков и др. В перспективе бактериальное выщелачивание открывает возможности создания полностью автоматизированных предприятий по получению металлов из забалансовых и потерянных руд непосредственно из недр Земли, минуя сложные горнообогатительные комплексы.

## 1 Актуальность диссертационной работы

Постановка вопроса и актуальность темы. С ростом спроса на уран, как на вид сырья для гражданской ядерной промышленности, горнодобывающая промышленность по урану во всем мире растет и расширяется. На сегодняшний день в Казахстане запасы урана составляют около 1,7 млн. тонн.

Около 80% из них сосредоточено в месторождениях пластово-инфильтрационного типа, в водонасыщенных проницаемых породах.

Данный тип урановых месторождений разрабатывается наиболее экологически предпочтительным методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Этот метод обеспечивает низкий уровень себестоимости добычи и приносит минимальный ущерб окружающей среде.

Подземное скважинное выщелачивание является способом отработки рудных месторождений пластово-инфильтрационного типа без поднятия руды на поверхность путем избирательного перевода ионов природного урана в продуктивный раствор непосредственно в недрах. При этом урансодержащая руда остается под землей в отличие от традиционных методов добычи (шахтный и карьерный).

Основной проблемой, возникающей при реализации метода ПСВ, является то, что в настоящее время, не удается получить достаточно достоверную информацию о строении рудного тела для того, чтобы регулировать технологический процесс с целью максимального извлечения полезного компонента и снижения себестоимости добычи.

Опыт геолого-геофизических работ на урановых месторождениях свидетельствует о том, что применяемый комплекс геофизических методов не в полной мере обеспечивает решение некоторых задач при определении геологогеотехнологических параметров технологических блоков. К примеру, при подсчете запасов возникают трудности при расчете горнорудной массы (ГРМ) и определении эффективной мощности блока.

В настоящее время, на практике применяются различные методы определения эффективной мощности, анализ которых приведен в данной работе. Но, к сожалению, указанные методы определения или же, иными словами, «степени закисления» не всегда дают затребованный результат. Для правильной оценки величины целесообразно периодически проводить индукционный каротаж по наблюдательным, контрольным и технологическим скважинам после закисления блока. Интерпретация диаграмм индукционного каротажа, полученных после закисления блока, позволят получить качественно новую информацию о проникновении выщелачивающих растворов в рудовмещающем пласте, их распределении в межскважинном пространстве. На этой основе возможно определение геолого-геотехнологических параметров технологического блока и оценка эффективности отработки.

Целью исследования является повышение геологической эффективности геофизических работ на урановых месторождениях инфильтрационного типа путем совершенствования методики расчета геолого-геотехнологических параметров рудовмещающих пород к подсчету запасов урана по данным ГИС (на основе данных индукционного каротажа).

#### **Основные задачи исследований**

1. Геолого-геофизические исследования на действующих рудниках месторождения урана Казахстана, расположенных на разных урановорудных провинциях и анализ полученных данных.

2. Апробация методики определения степени закисления исследуемого технологического блока на основе данных индукционного каротажа.

3. Расчет геологических параметров на основе данных ГИС и анализ результатов применительно к технологическим условиям ПСВ.

4. Определение погрешностей, имеющих место при расчетах стволовых и блочных запасов и разработка методики устранения и/или понижения вероятности погрешности в подсчетах.

В Казахстане сосредоточена примерно пятая часть мировых запасов урана (21 % и 2 место в мире). Общие ресурсы урана порядка 1,5 млн тонн, из них около 1,1 млн тонн можно добывать методом подземного выщелачивания.

В 2009 году Казахстан вышел на первое место по добыче урана в мире, на данный момент республика сохраняет свое лидерство; по итогам 2013 года в стране добыто 22,5 тысячи тонн, а это более 38% от общемирового объема добычи урана.

В Казахстане 1,7 млн тонн разведанных запасов и ресурсов урана; многие месторождения, выявленные на территории страны, различны по условиям формирования и практическому значению. Есть шесть основных месторождений, похожих по общности геологических позиций, генетических признаков и обособленности. Шу-Сарысуйская провинция – урановое оруденение связано с региональным фронтом зон пластового окисления. Общие запасы и ресурсы составляют 60,5% от общих запасов и ресурсов Казахстана.

В настоящее время на месторождениях Уванас, Мынкудук, Канжуган, Моинкум, Акдала, Буденовское и Инкай ведется добыча урана способом подземного скважинного выщелачивания. Сырдарьинская провинция – урановое оруденение контролируется региональными фронтами зон пластового окисления. Запасы урана в провинции составляют 12,4% от общих запасов и ресурсов Казахстана. Добыча урана осуществляется методом подземного выщелачивания на месторождениях Северный и Южный Карамурун, Ирколь и Хорасан. Северо-Казахстанская провинция – урановые месторождения провинции представлены жильно-штокверковым оруденением в складчатых комплексах протерозоя и палеозоя. Суммарные запасы провинции составляют 16,5% от общих запасов и ресурсов Казахстана. Прикаспийская провинция – представлена уникальным типом

месторождений, связанных со скоплениями фосфатизированного костного детрита ископаемых рыб. Запасы и ресурсы урана составляют 1,8% в общем балансе запасов Казахстана. Добыча урана в настоящее время не ведется. Прибалхашская провинция – основной тип урановых месторождений – эндогенные жильно-штокверковые месторождения в континентальных вулканических комплексах. Основные месторождения провинции отработаны. Остальные запасы и ресурсы урана составляют 0,4% от общих запасов республики. Добыча урана прекращена. Илийская провинция – основные запасы связаны с урано-угольными месторождениями, образованными грунтовым окислением кровли бурогоугольных пластов. Запасы и ресурсы урана составляют 6% от всех запасов Казахстана. Добыча урана в настоящее время не ведется.

Известно, что в природе энергичный вынос урана из пород происходит в условиях как химического, так и бактериального окисления пирита, входящего в состав этих пород. Однако, основная роль в процессах биовыщелачивания урана из руды принадлежит трехвалентному железу, получаемому в результате роста автотрофного микроорганизма *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Окисление закисного железа для *A. ferrooxidans* и окисление серы для *A. thiooxidans* являются, как известно, энергетическими процессами, необходимыми для их жизнедеятельности. Эти микроорганизмы способны окислять различные сульфидные минералы. В результате этих процессов образуется трехвалентное железо и серная кислота. Полученное  $Fe^{3+}$  окисляет  $U^{4+}$  до  $U^{6+}$ , который растворим в сернокислых растворах.

Для увеличения эффективности процесса бактериального выщелачивания необходимо произвести закрепление бактерии в начальном процессе выщелачивания не менее чем 20 дней. Практическая ценность работы заключается в создании комплекса геотехнологических приемов, способов и рекомендаций с целью усовершенствования микробиологических способов технологии подземного выщелачивания урана. С целью увеличения эффективности опытно-промышленных работ по доизвлечению урана из отработанных скважин с использованием бактериальных растворов рекомендуется осуществить реализацию процесса в замкнутом цикле с локальной сорбцией откачиваемых растворов.

## 2 Технологическая часть и методы исследования

### 2.1 Лабораторные исследования

Для определения количества микроорганизмов в 1 мл жидкости производят подсчет их под микроскопом в счетной камере Горяева. Счетная камера имеет вид толстого предметного стекла, в центре которого находится стеклянная пластинка с выгравированной на ней сеткой (или 2 сетки на разделенной пополам пластинке). Справа и слева от центральной пластинки находятся 2 другие стеклянные пластинки с уровнем на 0,1 мм выше. После тщательного перемешивания исследуемой жидкости берут каплю ее сухой стеклянной палочкой или петлей, наносят на сетку счетной камеры, накрывают покровным стеклом размером 18x18 мм толщиной 0,25-0,35 мм и притирают покровное стекло к боковым пластинкам камеры. Притирают покровное стекло для того, чтобы высота слоя исследуемой жидкости в камере была 0,1 мм. Затем счетную камеру кладут на столик микроскопа и находят в его поле зрения сетку. Легче ее находить под малым увеличением (10x8). Затем, не двигая счетную камеру, делают увеличение в 400 раз (окуляр 10xОбъектив 40). При таком увеличении в поле зрения микроскопа помещается 1 большой квадрат, состоящей из 16 маленьких квадратов или не разделенный на маленькие квадраты. Подсчитывают все клетки микроорганизмов, находящиеся внутри большого квадрата, а также на пограничных линиях, если клетки большей половиной находятся в данном квадрате.

Клетки, большая половина которых находится в другом квадрате, не подсчитываются. Если клетки пересекаются пограничной линией пополам, то клетки считают только на двух смежных сторонах квадратов, например, на левой и нижней. В каждом препарате подсчитывают клетки в пяти больших квадратах, например, по углам и в центре сетки. В слишком густых суспензиях считать микроорганизмы трудно, поэтому их следует разбавлять водой и пользоваться такими разведениями, при которых количество клеток в одном большом квадрате будет не более 30. Для того чтобы результат подсчета был достоверен, необходимо сосчитать не менее 600 микроорганизмов.

Количество препаратов, в которых нужно подсчитать микроорганизмы, будет зависеть от количества клеток в них. Так, если в пяти больших квадратах одного препарата содержится около 150 клеток, то нужно приготовить 4 препарата, чтобы общее количество сосчитанных клеток было около 600. Объем одного большого квадрата во всех счетных камерах равен  $1/250 \text{ мм}^3$ , соответственно объем 5 квадратов равен  $5/250$  или  $1/50 \text{ мм}^3$ . Чтобы определить количество клеток в 1 мл (в  $1000 \text{ мм}^3$ ) исследуемого субстрата нужно среднюю сумму количества клеток в пяти больших квадратах умножит на 50000. Число микроорганизмов в 1 мл исследуемого субстрата (x) удобно определять по формуле:

$$x = a * 50000 \text{ b} \quad (3)$$

где: а-средняя сумма количества подсчитанных клеток в пяти больших квадратах; b-разведение исходной суспензии микроорганизмов; 50000-коэффициент пересчета объем пяти больших квадратов на 1 мл.

При проведении измерений должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего (20/10) °С;
- атмосферное давление воздуха (84/106) кПа= (630/795) мм рт.ст.;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- питание прибора от сети переменного тока напряжением (220/22) В, частотой (50/1) Гц.

## 2.2 Методика исследования

Методика выполнения измерений содержания урана титана-фосфатно-ванадатным методом. Настоящая методика распространяется на измерение содержания урана в растворах подземного выщелачивания в диапазоне концентраций урана от 1000:1,0 г/дм<sup>3</sup>.

*Сущность метода.*

Метод основан на восстановлении урана в фосфорнокислой среде до четырехвалентного состояния треххлористым титаном, избирательным окислением примесей натрием азотнокислым (уран при этом остается в четырехвалентном состоянии) и титровании четырехвалентного урана аммонием ванадиевокислым.

А) Средства измерений, вспомогательные устройства, реактивы

Кислота ортофосфорная по ГОСТ 6552-58, чда, 78,5%-ный раствор ( $\rho = 1,61 \text{ г/см}^3$ ): 881,42 см<sup>3</sup> конц. Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub> довести водой до 1 дм<sup>3</sup>;

Мочевина по ГОСТ 6691-77, чда, 30%-ный раствор: 300 г NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub> растворить в дистиллированной воде и довести вновь до 1 дм<sup>3</sup> водой. Если раствор мутный, то его следует отфильтровать.

Кислота серная по ГОСТ 4204-77, хч, 4N раствор (раствор 1): к 2 дм<sup>3</sup> дистиллированной воды прибавить 392 г Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Конц. Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ( $\rho = 1,824 \text{ г/см}^3$ ) соответствует 90,87%.

100г 90,87% - 90,87г Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

х г 90,87% - 392 г Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

х=431,39 или 236,51 см<sup>3</sup>

Для приготовления 2 дм<sup>3</sup> 4N Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> к 1763,5 см<sup>3</sup> дистиллированной воды прибавляют порциями 236,51 см<sup>3</sup> кислоты, охлаждают и доводят объем до метки водой;

Кислота серная 2 N раствор (раствор 2): к 941 см<sup>3</sup> дистиллированной воды прибавляют 59 см<sup>3</sup> конц Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, охлаждают и доводят водой до 1 дм<sup>3</sup>;

Кислота серная 0,5 N раствор (раствор 3): к 985,25 см<sup>3</sup> дистиллированной воды прибавить 14,75 см<sup>3</sup> кислоты, охладить и довести водой до 1 дм<sup>3</sup>;

Соль Мора по ГОСТ 4208, 0,1 N раствор: 39,2 г FeSO<sub>4</sub>·(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O поместить в мерную колбу и довести до метки раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 3);

Калия бихромат 0,1N раствор;

Титан (3+) серноокислый по ТУ 6-09-07-979-77, чда, или титан треххлористый по ГОСТ 311-78, ч.д.а.;

Натрия карбонат по ГОСТ 83-79 чда: 10 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> растворяют в воде и доводят объем до 100 см<sup>3</sup> водой;

Аммоний ванадиевокислый мета- по ГОСТ 9336-45, чда, 0,0168 N раствор (T=0,002): 3,9305 г NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub> растворяют в 500 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 1), перемешивают и выдерживают до полного растворения. Доводят раствор до 2 дм<sup>3</sup> раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 1) и перемешивают.

Рабочие растворы аммония метаванадата 0,00084 N (T=0,0001) и 0,00168 N (T=0,0002) готовят разбавлением исходного раствора в 20 и 10 раз соответственно раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 1);

Титр аммония метаванадата проверяют, контролируя нормальность раствора: в мерную колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> отбирают 10 см<sup>3</sup> 0,1N раствора соли Мора, прибавляют 25 см<sup>3</sup> 0,0168 N раствора NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>, 25 см<sup>3</sup> воды, 5 см<sup>3</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 120 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 2), 2 капли 0,5 % раствора дифениламин -4-сульфоната натрия или бария. Титруют 0,1 N раствором K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> до устойчивой фиолетовой окраски (V<sub>1</sub>). Во вторую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> отбирают 10 см<sup>3</sup> 0,1 N раствора соли Мора, прибавляют 170 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствор 2), 5 см<sup>3</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 2 капли 0,5% раствора дифениламин-4-сульфоната натрия или бария. Титруют 0,1 N раствором K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> до устойчивой фиолетовой окраски (V<sub>2</sub>).

$$N=(V_2-V_1) * N/a$$

Аммиак водный по ТУ 6-09-19-91-75, о.с.ч.; разбавленный раствор (1:2)

Индикатор 0,5 % раствор дифениламин-4-сульфоната натрия или бария: 0,5 г дифениламин-4-сульфоната натрия или бария растворяют в 100 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (раствора 2);

Дифениламин-4-сульфоукислоты натриевая соль по ТУ 6-09-3059-78, чда или дифениламин-4-сульфоукислоты бариевая соль по ТУ 6-09-2975-78, чда 0,01 N раствор: 0,2713 г C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NHC<sub>6</sub>H<sub>6</sub>SO<sub>3</sub>Na или (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NHC<sub>6</sub>H<sub>6</sub>SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ba растворить в дистиллированной воде и довести водой до 100 см<sup>3</sup>; индикатор, наполовину окисленный дифениламин-4-сульфоукислоты натриевая или бариевая соль: к 100 см<sup>3</sup> 0,01 N раствора дифениламин-4-сульфоукислоты натриевой или бариевой соли прибавить 5 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (конц.) и разбавить раствор до 300 см<sup>3</sup> дистиллированной водой. К раствору медленно приливают 25 см<sup>3</sup> 0,1N раствора K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 8-10 см<sup>3</sup> 0,1 раствора FeSO<sub>4</sub> (можно использовать соль Мора). Раствор должен иметь зеленый цвет. Если раствор фиолетового цвета, то он испорчен и должен быть приготовлен заново.

Полученный раствор оставляют стоять 3:4 дня, прозрачную жидкость над осадком сифонируют, не взмучивая осадок. К осадку прибавляют 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 15 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (конц.), перемешивают, дают осадку осесть в течение 3:4 дней, снова сливают жидкость над осадком сифонированием. Осадок еще раз заливают 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 15 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (конц.) и отстаивают 1 день. Прозрачную жидкость сифонируют и взбалтывают со 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

Перед употреблением взбалтывают, отливают нужное количество и нейтрализуют аммиаком (1:1) до перехода зеленого цвета в красный. Среда должна быть нейтральной. Через некоторое время цвет раствора переходит в зеленовато-коричневый, а потом – в светло – зеленый. Индикатор устойчив в течение года.

#### Проведение анализа

1:10 см<sup>3</sup> продуктивного раствора подземного выщелачивания помещают в коническую колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> (если аликвота меньше 10 см<sup>3</sup>, то прибавляют воду до общего объема 10 см<sup>3</sup>) прибавляют 1:2 капли 30 %-го раствора мочевины, перемешивают, прибавляют 10 см<sup>3</sup> H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> перемешивают, прибавляют по каплям титан треххлористый до появления ясной фиолетовой окраски, охлаждают 10:15 минут до температура 15 0С прибавляют 3 см<sup>3</sup> 5 %-го раствора натрия азотнокислого, энергично перемешивают 15:20 секунд, прибавляют 5 см<sup>3</sup> 30 %-го раствора мочевины, перемешивают до исчезновения пузырьков газа, прибавляют 2:3 капли индикатора, перемешивают и титруют раствором аммония ванадиевокислого требуемой концентрации таблица 1.

Таблица 1 - Результаты полного анализа

Содержание U в растворе, г/дм <sup>3</sup>	Объем раствора взятый для анализа, см <sup>3</sup>	Применяемая концентрация NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	
		нормальность	титр
0,01:0,05	10	0,00084	0,0001
0,05:0,1	10	0,00252	0,0003
	2; 5	0,00084	0,0001
0,1:0,3	2; 5	0,00252	0,0003
0,3:0,5	2	0,00252	0,0003
0,5:1,0	1	0,00252	0,0003
	5; 10	0,021	0,0025

#### б) Обработка результатов

Содержание урана в растворе (X) г/дм<sup>3</sup>:

$$X = T \cdot V \cdot 1000 / V_a$$

T-титр раствора аммония ванадиевокислого по урану, г/см<sup>3</sup> вычисляют по формуле:

$$T = N \cdot \mathcal{E} / 1000$$

где N-нормальность раствора  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ;  
Э-грамм-эквивалент урана, равный в данном случае 119,015;  
V-объем раствора  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  пошедший на титрование,  $\text{см}^3$ ;  
 $V_a$ -объем раствора подземного выщелачивания, взятый для анализа,  $\text{см}^3$ .

#### *Техника безопасности*

При выполнении анализа необходима соблюдать требования, установленные инструкциями «Основные правила безопасной работы в химической лаборатории», НРБ-99 «Нормы радиационной безопасности», ОСП-72/87 «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками излучений».

Требования к квалификации персонала

Измерения по настоящей методике может выполнять лаборант химического анализа 5-го разряда.

Метод основан на образовании  $\text{Fe} (3+)$  с сульфосалициловой кислотой при  $\text{pH}=2:3$  комплекса, окрашенного в бурый цвет, и разрушении этого комплекса при опробовании трилоном Б с образованием более прочного комплекса  $\text{Fe} (3+)$  с трилоном Б, окрашенного в желтый цвет. Таким образом, титрование ведут до перехода бурой окраски раствора в желтую.

Средства измерений, вспомогательные устройства, реактивы

Посуда мерная стеклянная лабораторная по ГОСТ 1770-74 и ГОСТ 20292-74 вместимостью: колбы мерные 1000  $\text{см}^3$ , пипетки 5, 10  $\text{см}^3$ , мензурки 100, 500  $\text{см}^3$ .

Колбы конические по ГОСТ 10394-72 вместимостью 250  $\text{см}^3$ .

Колбы плоскодонные по ГОСТ 10394-72 вместимостью 1000  $\text{см}^3$ .

Капельницы по ГОСТ 9876-73.

Воронки лабораторные по ГОСТ 8613-75.

Тигли фарфоровые по ГОСТ 9147-73.

Стаканы термостойкие по ГОСТ 10394-72 вместимостью 300  $\text{см}^3$ .

Фильтры обеззоленные «белая» или «красная» лента по ТУ 6-09-1678-72.

Кислота соляная по ГОСТ 3118-77 х.ч., разбавленная дистиллированной водой 1:2;

Кислота азотная по ГОСТ 4461-77, х.ч.;

Кислота серная по ГОСТ 4204-77 х.ч.

Кислота хлорная.

Аммиак водный по ГОСТ 3760-64, х.ч.

Кислота сульфосалициловая двух водная по ГОСТ 4478-78, 20%-ный раствор.

Трилон Б по ГОСТ 10652-73, х.ч., 0,05 М раствор.

Квасцы железозаммонийные по ГОСТ 4205-77, х.ч., раствор с содержанием 1 г/ $\text{дм}^3\text{Fe} (3+)$ .

Серебро азотнокислородное по ГОСТ 1277-75, х.ч., 3%-ный раствор.

Вода, дистиллированная по ГОСТ 6709-72.

Весы лабораторные аналитические любой модели, обеспечивающие взвешивание с погрешностью не более 0,0002 г.

Весы технические любой модели, обеспечивающие взвешивание с погрешностью не более 0,005 г.

Электрическая плита с закрытой спиралью мощностью 1:2 кВт.

Печь муфельная лабораторная любой модели, обеспечивающая нагрев до 1200<sup>0</sup>С.

Бумага универсальная индикаторная по ТУ 6-09-1181-76.

*Подготовка растворов к анализу.*

Раствор соляной кислоты, разбавленный 1:2, готовят следующим образом: к 2 объемным частям дистиллированной воды прибавляют при перемешивании 1 объемную часть концентрированной соляной кислоты. Раствор охлаждают до комнатной температуры.

20%-ный раствор сульфосалициловой кислоты готовят следующим образом: 20 г сульфосалициловой кислоты, растворяют в 80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, перемешивают, раствор устойчив в течении месяца.

3%-ный раствор азотнокислого серебра готовят следующим образом: 3,0 азотнокислого серебра растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, прибавляют 2-3 капли серной кислоты перемешивают, хранят в склянке из темного стекла, устойчив в течении месяца.

Раствор Fe (3+) с содержанием в 100 см<sup>3</sup> готовят следующим образом: 8,7 г железоаммонийных квасцов, помещают в мерную колбу вместимостью 1000 см<sup>3</sup>, растворяют в 100:200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, приливают при перемешивании 10 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты, охлаждают и доводят объем до метки дистиллированной водой, перемешивают. Раствор фильтруют через фильтр «белая» или «красная лента».

Содержание Fe (3+) в приготовленном растворе устанавливают весовым методом: отбирают 100 см<sup>3</sup> приготовленного раствора в стакан, нагревают почти до кипения, и осторожно добавляя по каплям, осаждают гидроокись железа, аммиак добавляют до явного запаха. Стакан с осадком нагревают 10:20 минут, дают осадку осесть и фильтруют через фильтр «белая» или «красная лента», сливают на фильтр сначала жидкость, а осадок 3:5 раз промывают в стакане декантацией горячей (50:60<sup>0</sup>С) водой. Затем осадок переносят на фильтр и растворяют его в горячей разбавленной 1:2 соляной кислоте, собирая раствор в стакан, в котором проводилось осаждение. Фильтр промывают 9:10 раз горячей водой, слабopодкисленной соляной кислотой. Полученный раствор доводят до 150:200 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, нагревают почти до кипения и отстаивания осадка раствор фильтруют, сливая сначала жидкость, а затем количественно переносят осадок на фильтр и промывают его 8:10 раз горячей водой до удаления ионов (отсутствие белой мути при добавлении AgNO<sub>3</sub>) промытый осадок помещают во взвешенный платиновый или фарфоровый тигель, сушат, озоляют и прокаливают в муфельной печи при 800<sup>0</sup>С до постоянного веса. Взвешивают.

Содержание Fe (3+) в г/дм<sup>3</sup> (X) вычисляют по формуле:

$$X=0,6994*q*1000/v$$

0,6994-коэффициент пересчета с Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на Fe (3+);

q-масса прокаленной Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, г;

v-аликвотная часть раствора, взятая для анализа, см<sup>3</sup>.

0,05 M раствора трилона Б готовят следующим образом:

18,6125 г трилона Б растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 1000 см<sup>3</sup>, раствор доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Титр приготовленного раствора трилона Б по железу определяют следующим образом: 50 см<sup>3</sup> раствора Fe (3+), помещают в коническую колбу вместимостью.

250 см<sup>3</sup>, нейтрализуют раствором аммиака до pH=2 по универсальной индикаторной бумаге, 2-3 капли раствора сульфосалициловой кислоты и титруют раствором трилона Б до перехода бурой окраски в желтую. Титр трилона Б по железу (г/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле:

$$T_{\text{трБ/Fe}}=50*C_{\text{Fe}}/1000*v_{\text{трБ}}$$

где: C<sub>Fe</sub>-содержание железа в растворе железа окисного, г/дм<sup>3</sup>;

v<sub>трБ</sub>-объем трилона Б, пошедшего на титрование, см<sup>3</sup>.

При приготовлении раствора трилона Б из стандарт-титра его по железу не устанавливают, а вычисляют по формуле:

$$T_{\text{трБ/Fe}}=M_{\text{трБ}}*M_{\text{Fe}}/1000=0,05*55,847/1000=0,00279$$

где: M<sub>трБ</sub>- молярность раствора трилона Б, г-моль/дм<sup>3</sup>;

M<sub>mFe</sub>- молекулярная масса Fe, равная 55,847 г.

Выполнение измерений

Отбирают аликвотную часть раствора равную 1:5 см<sup>3</sup>, помещают в коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup>, прибавляют дистиллированную воду до 100 см<sup>3</sup> и нейтрализуют раствором аммиака до pH=2:3 по универсальной индикаторной бумаге, затем прибавляют 2:3 капли сульфосалициловой кислоты и титруют раствором трилона Б до перехода бурой окраски раствора в желтую.

Обработка результатов

Содержание Fe в г/дм<sup>3</sup> (X) вычисляют по формуле:

$$X=T_{\text{трБ/Fe}}*v_2*1000/v_1$$

где: T<sub>трБ/Fe</sub>-титр трилона Б по железу, мг/дм<sup>3</sup>;

v<sub>1</sub>-аликвотная часть раствора;

v<sub>2</sub>-объем трилона Б пошедшего на титрование, см<sup>3</sup>.

При выполнении анализа необходимо соблюдать требования, установленные инструкциями «Основные правила безопасной работы в химической лаборатории», НРБ-99 «Нормы радиационной безопасности», ОСП-72/87 «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками излучений».

## 2.2.1 Приготовление среды 9К Сильвермана и Люндгрена

Питательная среда для культивирования биомассы

Питательная среды. Среда Сильвермана и Люндгрена 9К:

1-й раствор: в 700 мл дистиллированной воды растворили (г):  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-3,0;

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-0,5; KCl-0,1; MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O-0,5; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*4H<sub>2</sub>O-0,01;

2-ой раствор: в 300 мл дистиллированной воды растворили 44,2 г FeSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O и добавили 1 мл 10н раствора серной кислоты.

Затем эти раствора перемешивают друг с другом.

Среда 9KS:

1-й раствор: в 700 мл дистиллированной воды растворили (г):  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-0,5;

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-0,2; NaCl-0,2; MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O-0,3; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*4H<sub>2</sub>O-0,07;

2-ой раствор: в 300 мл дистиллированной воды растворили 22,1 г FeSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O и добавили 1 мл 10н раствора серной кислоты. pH=1,5-2,5.

Среда Ваксмана г/л:

Сера – 10,0; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-0,3; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-3,0; NaCl-0,2; MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O-0,5;  
CaCl<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O-0,25; FeSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O-0,01.

Растворы стерилизовали отдельно при температуре 110 и 1 атм; в течение 20 мин.

Методы количественного учета

Количественный учет микроорганизмов проводили методом серийных разведений, методом прямого подсчета в камере Горяева и методом прямого подсчета с помощью микроскопа с фазово – контрастным устройством.

Культурально – биохимические методы идентификации.

Идентификацию штаммов проводили на основе физиолого-биохимических методов.

## 2.2.2 Адаптация и активация бактерий

Термин «микроорганизмы» является объединяющим для бактерий, грибов, водорослей, лишайников и др. (в основном одноклеточных), отличающихся друг от друга генетически, метаболически и экологически; однако все эти организмы имеют одну общую характеристику: их размер составляет от нескольких десятков нанометров до нескольких микрон.

Микроорганизмы могут функционировать в геохимически экстремальных условиях – в глубоководных седиментах и гидротермальных кратерах, полярных регионах и пустынях, в условиях высоких температур (термофилы), кислотности (pH <1) и щелочности (ацидо-и алкалофилы), концентраций солей (галофилы) и гамма-радиации. В земной коре бактерии и

археи наиболее активны в критической зоне, для обеспечения их жизнедеятельности необходимы лишь вода и температуры, меньшие 130 °С.

Бактерии, археи, грибные и водорослевые культуры обуславливают биогеохимический цикл большинства элементов до глубин, превышающих 2 км.

В условиях сверхглубоких (более 4 км) горных выработок обычным является наличие сульфатовосстанавливающих бактерий (например, *Desulfotomaculum*). Подобные микроорганизмы представлены анаэробными гетеротрофными бактериями, восстанавливающими серосодержащие соединения (например, сульфат и тиосульфат) до сульфида H<sub>2</sub>S. В частности, эти бактерии способны разрушать тиосульфатный комплекс золото, которое затем в элементном состоянии входит в состав новообразованных сульфидных минералов.

Анаэробно дышащие гетеротрофные бактерии в качестве источника энергии используют углерод органических соединений, в то время как акцепторами электронов служат неорганические соединения. Анаэробные хемолитотрофные бактерии (*Thiobacillus ferrooxidans*) используют в качестве источника энергии и восстановительной «силы» такие соединения, способные окисляться, как H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S, превращая неорганический углерод (CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>) в органические соединения. Некоторые анаэробные хемолитотрофы используют органический углерод как единственный источник энергии.

Другим химически активными микроорганизмами являются железо – и сероокисляющие аэробные хемолитотрофные бактерии и археи. Их жизнедеятельность реализуется помощью фиксирования CO<sub>2</sub>, содержащегося в атмосфере, что позволяет обходиться без использования хитин, полисахариды, протеины, липиды и пигменты. Такое разнообразие структурных компонентов определяет наличие различных функциональных групп (фосфатных, карбоксильных, аминных и гидроксильных), способных связывать металлы в ионном и коллоидном состояниях.

Разница в структуре клеточных стенок определяется наличием двух видов бактерий - грам-положительных и грам-отрицательных (рис. 1). Клеточная стенка грам-положительных бактерий содержит «толстый» (~ 25 нм) слой поперечно-сшитого полимера - пептидогликана (муреина), обогащенного карбоксильными группами (его содержание в стенке достигает 90 %). Стенка грам-отрицательных бактерий содержит 10-20 % пептидогликана в виде более тонкого (4 нм) слоя, экранированного от окружающей среды липид-протеиновым бислоем на внешней мембране.

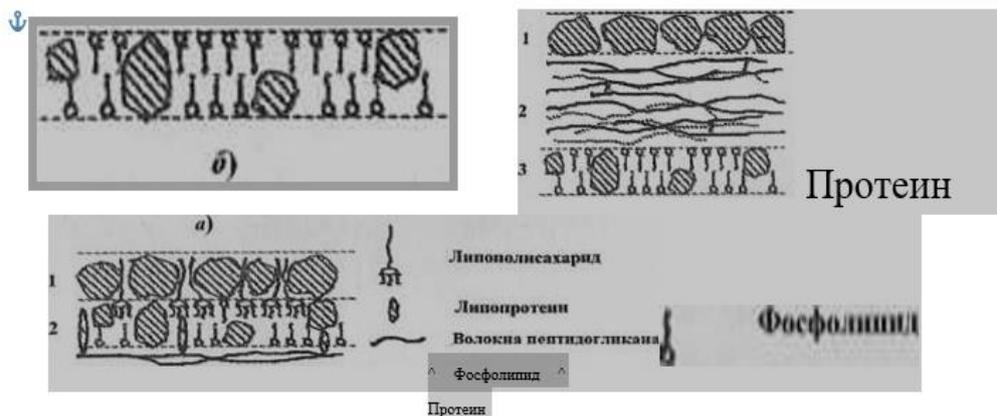


Рисунок 1 - Строение оболочек грам-положительной (а) и грам-отрицательной

(б) бактерий:

1 – поверхностный слой; 2 – стенка; 3 плазматическая мембрана

Клеточные стенки растений в основном содержат целлюлозу, в случае водорослей - г्लукопротеины и полисахариды, а в случае грибов - полисахариды, протеины, липиды и пигменты (рп. 2). Такое рнтнообраще структурных компонентов определяет наличие различных фуункциоши групп (фосфатных, карбоксильных, аминных и I пдроксильных), способных связывать металлы в ионном и коллоидном состояниях.

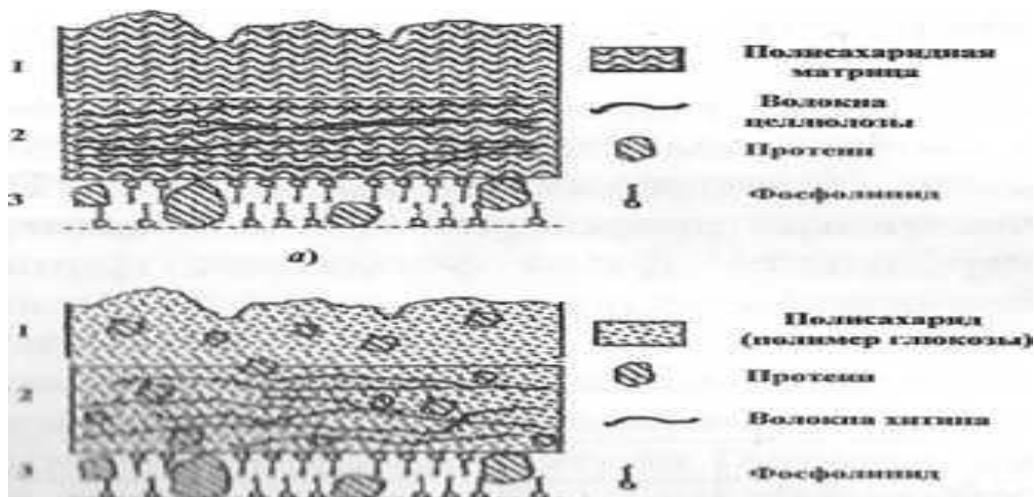


Рисунок 2 – Схема строения клеточной стенки биосорбентов: водоросли (а) и гриба (б):

1 – растительный «клей»; 2 – стенка клетки; 3 – плазматическая мембрана

Интенсивность и разнообразие взаимодействий между минеральными коллоидами и живой микробиологической биомассой, реализуемые в почвах, обусловлены тем, что первые являются наиболее активными компонентами неорганической фракции, а вторые – органической.

В природных условиях бактерии, взаимодействуя с металлами и минералами, изменяют их физическое и химическое состояние, кроме того, представителями биоминералов являются карбонаты кальция, силикаты и оксиды /сульфиды железа.

– биорастворение, происходящее под влиянием органических кислот (выделяемых клеткой) и сопровождающееся образованием хелатных соединений;

– биосорбция, реализуемая на поверхности клеточной стенки, например,

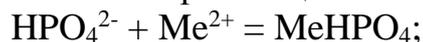


– внутриклеточная биоаккумуляция;

– биовосстановление, катализируемое ферментами, например,



- биоминерализация:



Установлено, что поверхность бактериальных клеток может служить подложкой при нуклеации минералов, а выделение клетками химически активных внеклеточных органических соединений (энзимов, металлотионеинов и сидерофоров) обуславливает связывание металлов, присутствующих в растворах, и катализирует их трансформацию. Побочными продуктами этих внеклеточных выделений (экссудатов) могут быть сульфиды фосфат-ионы, что определяет возможность перевода металлов из ионного в нерастворимое состояние. Кроме того, бактерии могут инициировать самопроизвольное осаждение металлов за счет изменения химической обстановки в окружающей микроне.

Результатом взаимодействия между металлами (минералами) и бактериями в водном растворе могут быть либо растворение, либо осаждение (с последующей биоминерализацией). Баланс между этими процессами зависит как от внешней физико – химической обстановки (величины pH, наличия воды, газов, неорганических и органических ионов, молекул, коллоидов и наночастиц), так и от вида бактерий.

При оценке адгезионных взаимодействий с участием бактерий и минеральных наночастиц необходимо принимать во внимание силы, не учитываемые классической теорией ДЛФО, - гидратационные, гидрофобные и стерические.

Наиболее активно эти взаимодействия реализуются в «критической» гетерогенной поверхностной зоне, где совместно присутствуют почвенные частицы, минералы породы, водные растворы, атмосферные газы и живые

микроорганизмы. Взаимодействие неорганических почвенных минералов с органическими веществами и бактериями влияет на процессы образования и трансформации металлических оксидов. В свою очередь, высокая химическая активность наночастиц оксидов алюминия и железа, проявляемая в кислых и нейтральных почвах, обуславливает их участие в биологических преобразованиях.

В верхнем почвенном слое (ризосфере) вследствие наличия растительных эксудатов концентрация питательных веществ повышена. Это обуславливает колонизацию ризосферы многочисленными популяциями бактерий, грибов, простейших одноклеточных организмов и др. Взаимодействие между растениями и бактериями изменяет такие физико-химические свойства почвенных растворов, как кислотность, редокс-потенциал, ионная сила и концентрация органических комплексообразователей. Эти изменения, в свою очередь, сказываются на процессах, определяющих растворение, адсорбцию и трансформацию соединений на основе Fe, Al, Mn, As, Se, Cr, U, Pu, Zn, Ni, Au, Ag, Cu.

Так, в обводненных почвах в результате выделения из корневой системы растений  $\text{CO}_2$  в окружающем растворе резко изменяется величина редокс-потенциала, что вызывает осаждение на корнях  $\text{FeOOH}$  и адсорбцию соединений цинка.

Характер ассоциации микроорганизмов с почвенными минеральными и органическими коллоидами схематично. Бактериальные клетки с внеклеточным слоем экзополимера обуславливают наличие на их поверхности «шубы» из глинистых частиц. Пористое почвенное пространство, где происходит взаимодействие глинистых минералов и бактерий, сложено более крупными частицами ила и песка и обычно обогащено органическим веществом, включая фрагменты полимерных структур, гумусовые соединения, грибковые нитевидные молекулы и др. Что при околонеutralных значениях pH почвенного раствора бактериальная клетка имеет суммарный отрицательный заряд, поэтому присоединение к ней глинистых наночастиц возможна с помощью «посредников» - многозарядных катионов  $\text{M}^{n+}$ . Вместе с тем допускается и прямое электростатическое взаимодействие (варианты 2 и 3).

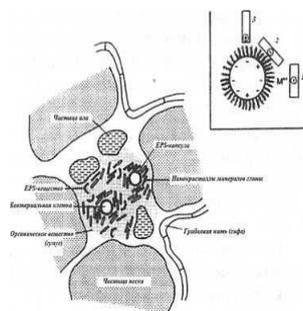
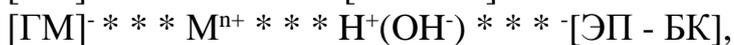
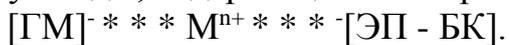


Рисунок 3 - Схема взаимодействия бактерий с минеральными частицами в составе почвенного агрегата: EPS - экзополимер

Хотя поверхности бактериальных клеток и кристаллических глинистых минералов (КГМ) заряжены отрицательно, наличие внеклеточных полисахаридов обуславливает возможность контакт этих поверхностей за счет образования связи с многозарядными катионами. Эта мостиковая связь может быть непосредственной или реализоваться через протон в составе молекул воды, содержащейся в первой гидратной оболочке катиона:



где: ГМ-глинистый минерал;  $\text{M}^{n+}$  - катион металла с зарядом, ЭП-экзополимер; БК-бактериальная клетка.

Предпочтительность реализации этих механизмов в основном зависит от степени гидратации. Состояние обезвоживания определяет взаимодействие по уравнению, кроме того, в этом случае следует учитывать влияние короткодействующих сил (Ван-дер-Ваальса и водородных), так как наличие экзополимерного вещества, увеличивая результирующую энергию притяжения, способствует сближению поверхностей.

Поверхность почвенных минеральных коллоидов обычно покрыта полимеризованными гидроксосоединениями железа или алюминия, поэтому эти коллоиды проявляют положительный заряд или амфотерные свойства, активно взаимодействуя с бактериальными клетками (эта связь прочнее мостиковой).

Следует также учитывать, что при значениях pH почвенных растворов ниже 6 поверхность минералов и окончания кристаллической структуры слоистых силикатов становятся положительно заряженными, что определяет электростатическое притяжение микроорганизмов. В верхних почвенных слоях минеральные наночастицы обычно покрыты органическим веществом (в основном гумусовыми соединениями, ГС), устойчивым к бактериальному воздействию, в этом случае контакт с коллоидной частицей также реализуется через мостиковую связь.



Контакт между наночастицами и поверхностью бактериальной мембраны определяются межфазными силами, в основном электростатическими. Если взаимодействие между положительно заряженной наночастицей и отрицательно заряженной бактериальной клеткой обуславливает наличие сил притяжения, то наличие одинакового отрицательного заряда вызывает отталкивание. Косвенно эти взаимодействия могут зависеть от процессов, изменяющих знак заряда поверхности наночастицы.

При контакте с бактериальной клеткой наночастицы за счет активных кислородных групп могут оказывать воздействия, повреждающие мембрану или сами частицы, могут проникнуть в периплазму/цитоплазму. Для предотвращения или ослабления этих губительных воздействий бактерия может защищаться слоем экзополимеров на основе карбогидратов протеинов.

Снижают вероятность контакта наночастиц с бактериальной клеткой физико-химические изменения в окружающей среде, сопровождающиеся образованием и осаждением агломератов, комплексообразованием с природным органическим веществом или «отвлекающим» взаимодействием наночастиц с минеральными частицами.

Если минеральная наночастица способна преодолеть бактериальную стенку, она достигает плазматической мембраны, которая в ответ формирует защитную структуру, обволакивающую и «втягивающую» частицу в объем клетки. Другой возможностью для внедрения наночастицы в клетку является использование транспортных переносчиков (протеинов) или ионных каналов. При проникновении наночастицы в ядро клетки она может связываться с постоянными элементами клеточной структуры (органеллами), такими, как вакуоли, рибосомы и др., отрицательно влияя на процессы метаболизма.

Отрицательное воздействие некоторых наночастиц на бактериальную клеточную структуру обусловлено окислением органических соединений (в частности липидов при контакте бактерии с частицей), сопровождающегося образованием пероксидов.

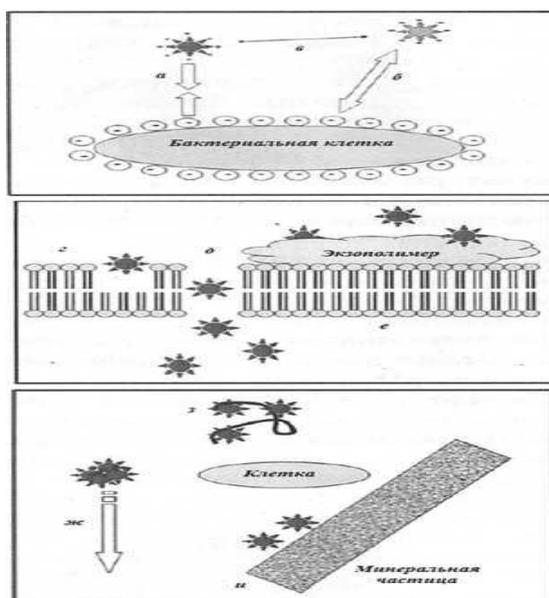


Рисунок 4 - Модель, характеризующая варианты взаимодействия минеральных наночастиц и бактериальной клетки

В условиях природных открытых водных бассейнов, а также в поверхностных водах и почвенном слое модифицирование поверхности минеральных наночастиц во многих случаях происходит вследствие образования пленок биологического происхождения. Главным стимулом для таких взаимодействий является бактериальная «защита» от влияния частиц, в ряде случаев, являющихся ядами, губительно влияющими на жизнедеятельность.

В то время как геохимическая активность бактерий и архей наиболее проявляется в анаэробных условиях и малом содержании органического углерода, в аэробных условиях важную роль играют микроскопические грибы, покрывая поверхность пород, находясь в почве и скапливаясь на границе раздела почвы и корневой системы растений. Так, например, симбиотическая связь между грибами и растениями (микориза) определяет преобразования минералов и перераспределение неорганических веществ (металлов, фосфата, и углерода). Другой вид симбиоза между водорослями, цианобактериями и грибами играет определяющую роль на первоначальной стадии биокolonизации пород и биосинтезе почвообразующих минералов.

Геохимические модели, характеризующие состояние и перенос металлов в почвенном слое, лишь недавно стало учитывать бактерии в качестве химически активных поверхностей, обуславливающих образование и стабилизацию наноминеральных фаз. Коллоидная поведение самих бактерии во многом определяется наличием на их поверхности внеклеточного слоя полисахаридов, толщина которого при нейтральных значениях рН не превышает 20 нм, однако при других условиях может увеличиваться до 1 мкм. С помощью атомносиловой микроскопии установлено, что силы притяжения распространяются от поверхности бактериальной клетки на расстояние более 1,2 мкм.

Характерным примером взаимодействия бактерий, с ионами в почвенных растворах является окисление соединений Mn, сопровождающееся образованием на поверхности бактерий покрытий в виде наночастиц оксидов марганца, гетита и уранинита.

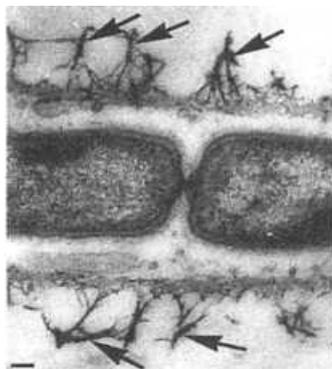


Рисунок 5 - ЯОЛ'-изображение тонкого среза клеток бактерии *Leptothrix* с осадком оксида марганца, выделившимся на внешней поверхности (показано стрелками) [29]: Размер масштабной линейки 150 нм

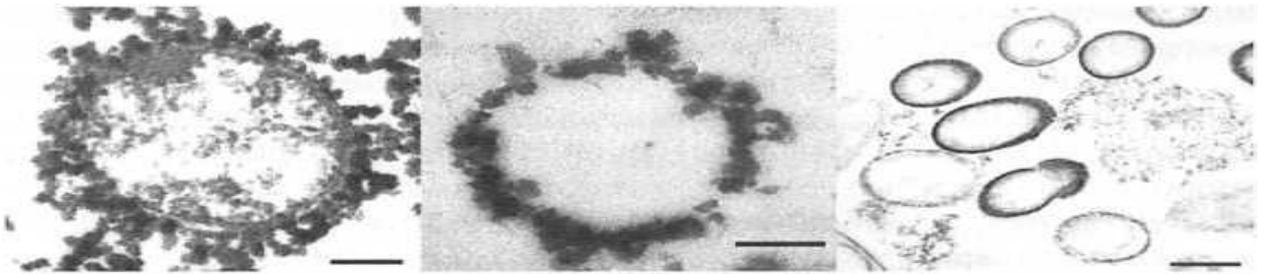


Рисунок 6 - ТЕМ-изображения некоторых осадков наноразмера бактериального происхождения [23]: (а) - нанокристаллы гётита, адсорбированные клеточной стенкой бактерии *Shewanella putrefaciens*; (б) - бактериальная клетка, выделенная из гидротермального источника в Йеллоустоуне, США, окруженная металлическими наночастицами; (в) - осадки наночастиц  $UO_2$ , выделившиеся в результате восстановления  $U(VI)$  в плазматической зоне бактериальных клеток *Geobacter metallireducens*. Размер всех масштабных линеек 150 нм

### *Биорастворение минералов и металлов*

Биологическое выветривание горных пород является процессом, в котором микроорганизмы реализуют взаимодействия наномасштаба. Микробиологическое воздействие на минералы могут происходить с помощью закрепления на их поверхности продуктов клеточного метаболизма. Это воздействие может усиливаться под «встречным» влиянием редокс-свойств химически активных компонентов минералов (железа, марганца, сульфид- и сульфат-ионов). Все типы изверженных и осадочных пород, включая кремнистые, кварцевые, силикатные, алюмосиликатные и карбонатные чувствительны по отношению к микробиологическому выветриванию.

Литотрофные микроорганизмы взаимодействуют с минералами получая энергию метаболизма за счет неорганических соединений ( $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $S$ ,  $NH_4^+$  и  $H_2$ ), в то время как гетеротрофные организмы утилизируют органические вещества и такие соединения, как  $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $Fe^{3+}$  и  $SO_4^{2-}$ , служащие акцепторами электронов.

Микроорганизмы, участвующие в биоокислении сульфидных минералов, способны создавать химическую среду, благоприятную для комплексообразования и перевода металлов в растворимое состояние. Такими химически активными микроорганизмами является железа и сероокисляющие аэробные хемолитотрофные бактерии и археи. В отличие от этих автотрофных организмов, аэробные хемолитотрофы для получения энергии используют разницу редокс-потенциалов между донорной парой ( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  или  $S^0/SO_4^{2-}$ ) и акцепторной парой ( $O_2/H_2O$ ).

Биохимические процессы растворения минералов и металлов основаны на формировании металлоорганических комплексов, близких по свойствам хелатам. Функциональными группами на поверхности микроорганизмов являются аминные, кетонные, тиокетонные,

гидроокисильные и карбоксильные. В образовании внутрикомплексных соединения (белки, пептиды, нуклеиновые кислоты), так и низкомолекулярные (фенолы, жирные и аминокислоты).

Для связывания металлов микроорганизмы выделяют специфические и неспецифические вещества. Специфическими являются протеины с низкой молекулярной массой (6000-10000), выделяемые микроорганизмами и растениями внутриклеточно.

Неспецифические вещества включают соединения от простых органических кислот и спиртов до макромолекул полисахаридов, гуминовых и фульвиновых кислот. Внеклеточное полимерное вещество, являющееся смесью полисахаридов и протеинов, выделяемых бактериями, водорослями и грибами, также способно связывать металлы, токсичные для микроорганизмов.

При контакте с оксидными и силикатными минералами микроорганизмы увеличивают их растворимость в водном растворе, изменяя равновесные характеристики и реакционную динамику на локальной (наноразмерной) границе раздела (в точке прикрепления и роста клеток на поверхности). Взаимодействие между живой клеткой и неорганическим минералом достигается с помощью увеличения в локальной зоне контакта кислотности и концентрации комплексообразующих органических лигандов, а также способностью микроорганизмов выделять химически активные внеклеточные вещества.

Отображающие взаимодействие бактерий *Caulobacter crescentus* с поверхностью полевого шпата. Приведена первоначальная (не тронутая окислением) поверхность минерала, на которой расположено несколько овальных бактериальных клеток, состояние поверхности, покрытой слоем экзополимера после трехнедельного контакта.

Для поддержания жизнедеятельности микроорганизмам необходимо наличие железа, как гетит, оливин,  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ , биотит,  $K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(F, OH)_2$ , мала. Поэтому для увеличения растворимости минералов и восполнения недостатка железа бактерии способны синтезировать низкомолекулярные ( $M < 1500$ ) комплексообразователи, растворимые в воде и селективные по отношению к ионам железа. Такими соединениями являются сидерофоры, содержащие активные группы гидроксаматов ( $RCONOH$ ) или фенолятов ( $ROH$ ) и образующие с Fe прочные комплексы. Локальная концентрация сидерофоров в почвах находится в пределах от 0,01 до 2,0 г/дм<sup>3</sup>, что позволяет на порядок увеличивать скорость растворения железосодержащих оксидных и силикатных минералов.

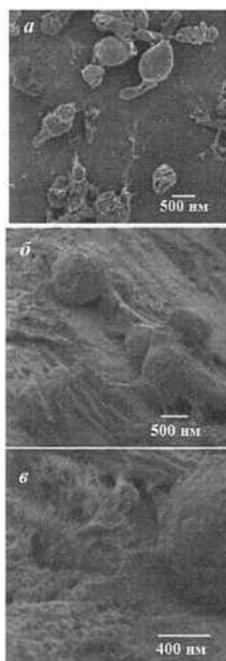


Рисунок 7 - SEM-изображения, характеризующие контакт бактерий с поверхностью полевого шпата а) колония бактериальных клеток при первоначальном контакте; б) клетки, взаимодействующие с поверхностью минерала и ориентированные параллельно плоскости спайности; в) слой внеклеточного полимерного вещества

Фосфор, необходимый для синтеза молекул ДНК, РНК, фосфолипидов и др., микроорганизмы «добывают», растворяя такие минералы, как апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ . При этом растворение «материнского» минерала сопровождается образованием осадка вторичных фосфатных наноминералов, содержащих железо и алюминий и нерастворимых в почвенной зоне.

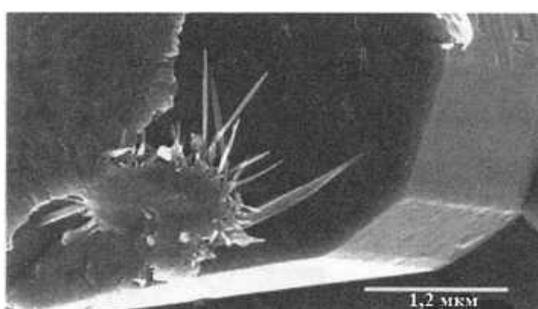


Рисунок 8 - Вторичные фосфатные наноминералы, образуемые на ранней стадии биологического выветривания на поверхности апатита

Помимо микроорганизмов, способных закрепляться на поверхности минералов с помощью внеклеточного полимерного вещества, имеются микроорганизмы, чья жизнедеятельность реализуется в поровой жидкости, а

закрепление на поверхности минерала происходит с помощью производимого ими «шлама» коллоидного размера.

Взаимодействие минералов с микроорганизмами обусловлено кумулятивным влиянием ван-дер-ваальсовых, электростатических, сольватационных и стерических сил, проявляющихся на расстояниях наномасштаба и по величине составляющих от  $10^{-9}$  до  $10^{-12}$  Н.

Так как размер микроорганизмов часто находится в нанозоне, для описания их поведения обычно используют теоретическую базу коллоидной химии. Однако в отличие от коллоидных частиц поверхность бактерий структурно и химически гетерогенна, а их закрепление на минералах в ряде случаев происходит с помощью фибриллярных образований. Несоответствие проявляется и в том, что бактерии способны прочно закрепляться как на гидрофильных, так и на гидрофобных поверхностях (гладких и шероховатых), практически не реагируя на срезающее воздействие гидродинамического потока.

Процессы биологического растворения минералов основаны на реализации трех последовательных стадий.

Первой является пространственное ориентирование и последующее закрепление бактерии (или другого микроорганизма) на поверхности минерала. На второй стадии реализуется колонизация поверхности сообществом бактерий, обуславливающих образование и рост сплошного ВПВ-слоя. На третьей стадии происходит собственно растворение минерала или его компонентов.

Ориентирование является специфическим для бактерии и конкретной минеральной поверхности. Этот эффект расценивается как стереохимическое молекулярное «распознавание» между компонентами клеточной стенки и минеральной подложкой, происходящее на дистанции, меньшей 1,5 нм.

Специфическое пространственное ориентирование обуславливает проявление ионных, водородных и химических связей, в то время как на больших расстояниях действует неспецифические взаимодействия, зависящие от заряда и запаса свободной энергии минеральной поверхности.

Масштабная бактериальная колонизация минеральных поверхностей реализуется, когда плотность породы значительно ослаблена и на поверхности существуют площадки микронного или наноразмера, пригодные для закрепления клеток. В природной обстановке колонизируются только те минеральные поверхности, для которых доступен контакт с водой и воздухом.

После колонизации и образования ВПВ-слоя в зонах поверхностных дефектов и на межзеренных границах реализуются гидратация и рекристаллизация, а также обменные реакции с ионами, находящимися, например, в межслойных промежутках слоистых силикатов. Все эти взаимодействия не отражаются на величине общего химического потенциала первичного минерала – он остается неизменным. Однако убыль поверхностной энергии обуславливает образование слоя вторичных

минералов с высокой степенью специфической ориентации кристаллической структуры по отношению к «материнскому» минералу. Поэтому повечной зоне минералы часто покрыты глинистыми образованиями, которые заполняют каверны, образующиеся при растворении, и оставляют мало мест для закрепления микроорганизмов.

Бактерии могут закрепляться на минеральной поверхности биологически (за счет специфических взаимодействий) или физико-химически (с помощью дальнедействующих сил). В обоих случаях результатом является образование на минерале слоя ВПВ, отличающегося составом, структурой, толщиной и формой. На ориентационное поведение и прочность закрепления полимера на минеральной поверхности влияет величина электрокинетического потенциала клеточной станки, а также свойства «подложки» (морфология, гидрофобность/гидрофильность и заряд) и раствора (Ph и величина ионной силы).

Кроме ВПВ-метаболитов микроорганизмы способны выделять и другие активные неорганические и органические реагенты, способные локально воздействовать на растворение минералов. В частности, некоторые микроорганизмы вырабатывают неорганические кислоты – слабую угольную (продукт реакции между водой и диоксидом углерода) и сильные – азотную и сильную, разрушающие породу.

Обычные почвенные бактерии выделяют такие органические кислоты, как глюконовая, молочная, лимонная, уксусная, щавельная и янтарная. Эти низкомолекулярные ( $M < 1000$ ) органические соединения подкисляют локальные зоны на межфазной границе и ускоряют растворение алюмосиликатных минералов.

Еще одним видом бактериальных секретов являются органические лиганды, способные образовывать комплексные соединения с ионами на минеральной поверхности, ослаблять и/или разрушать связи в кристаллической решетке минерала и катализировать реакции растворения. Другой «целью» для органических лигандов является комплексообразование с конкретными ионами в растворе, что обуславливает постоянство концентрационного градиента между твердой и водной фазами.

При наличии целлюлозы, имеющей кристаллическую структуру, подобную структуре силикатных минералов, для ее разложения бактерии выделяют метаболические ферменты – энзимы.

*Механизмы нановзаимодействия с металлическими бактерий сульфидами.*

Имеются два альтернативных механизма бактериального окисления сульфидов – прямой (контактный) и непрямой (через взаимодействия в растворе).

Первый механизм реализуется при закреплении бактериальных клеток непосредственно на поверхности металлического сульфида, а окисление минерала происходит с помощью воздействия ферментного окислителя.

При непрямом взаимодействии определяющим является наличие в растворе железа (III), обуславливающего растворение металлосодержащего сульфида в кислой среде. Продуктами взаимодействия являются ионы  $Fe^{2+}$  и коллоиды элементарной серы, затем биологически окисляющиеся до  $Fe^{3+}$  и сульфат-иона.

Необходимым условием для реализации бактериальной «атаки» на поверхность минерала является наличие ВПВ-слоя, содержащего липополисахариды. При воздействии бактерии *T.ferrooxidans* на поверхность пирита образуется металл-органический комплекс, где концентрация железа достигает 53 г/дм<sup>3</sup>. В результате ВПВ-слой приобретает суммарный положительный заряд, что обуславливает электростатическое притяжение клетки к отрицательно заряженной поверхности пирита.

В случае *T.ferrooxidans* цистеин ( $HS - CH_2 - CHNH_2 - COOH$ ), являющийся переносчиком серы, диффундирует через полимерный слой и способствует образованию полисульфидов, выделяющих коллоидную серу. Локальное воздействие бактерий *T.ferrooxidans* на сульфид проявляется в образовании коррозионных каверн – мест колонизации бактерий. С использованием электронной микроскопии установлено, что эти каверны являются локально – вытравленными площадками нанокристаллов.

За счет образования высокой концентрации  $Fe^{3+}$  - ионов у поверхности сульфида бактерии *L.ferrooxidans* способны увеличивать окислительный потенциал (он растет в соответствии с уравнением Нернста:

$$E = E^0 - \ln(Fe^{3+}/Fe^{2+})RT/nF).$$

Другим эффектом, обусловленным наличием бактерий этого вида, является неравномерное распределение по поверхности сульфида электрохимического потенциала. Это, в свою очередь вызывает образование локальных анодных и катодных участков (как в случае обычной электрохимической коррозии) и проявление питтинговой структуры наноразмера, характерной для всей контактирующей поверхности сульфида.

## 2.2.3 Технологическая схема

Схема расположения участков № 1, 2, 3, 4  
месторождение Буденновское  
масштаб 1: 50 000

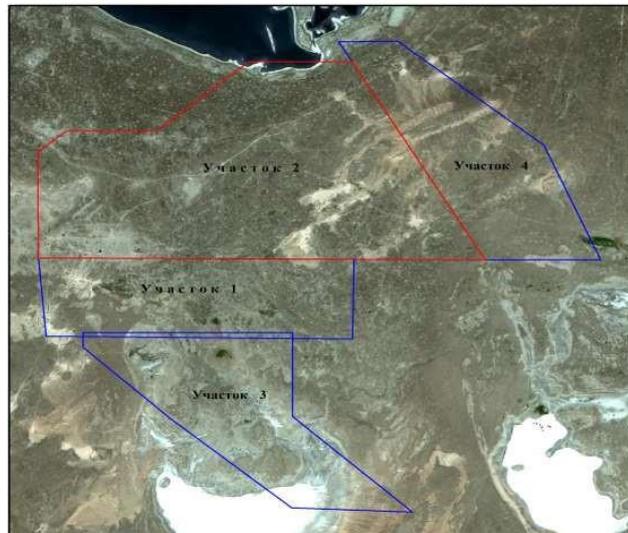


Рисунок 9 – Схема расположения участков

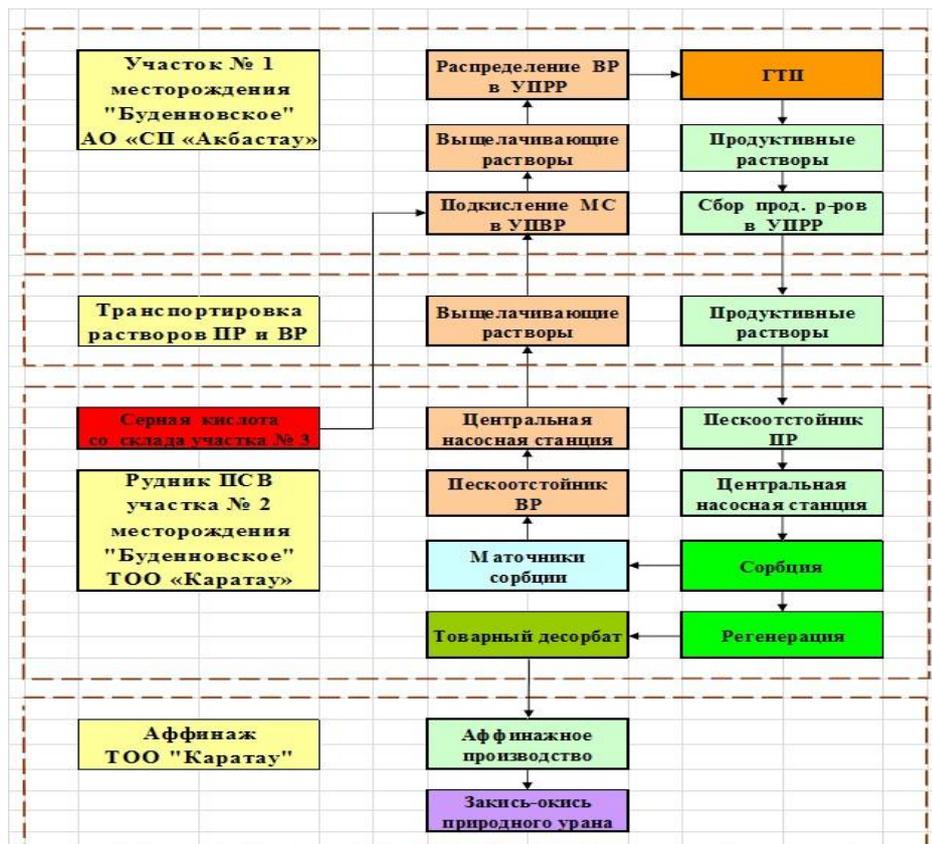


Рисунок 10 – Технологическая схема переработки продуктивных растворов и выпуск готовой продукции на руднике ПСВ урана

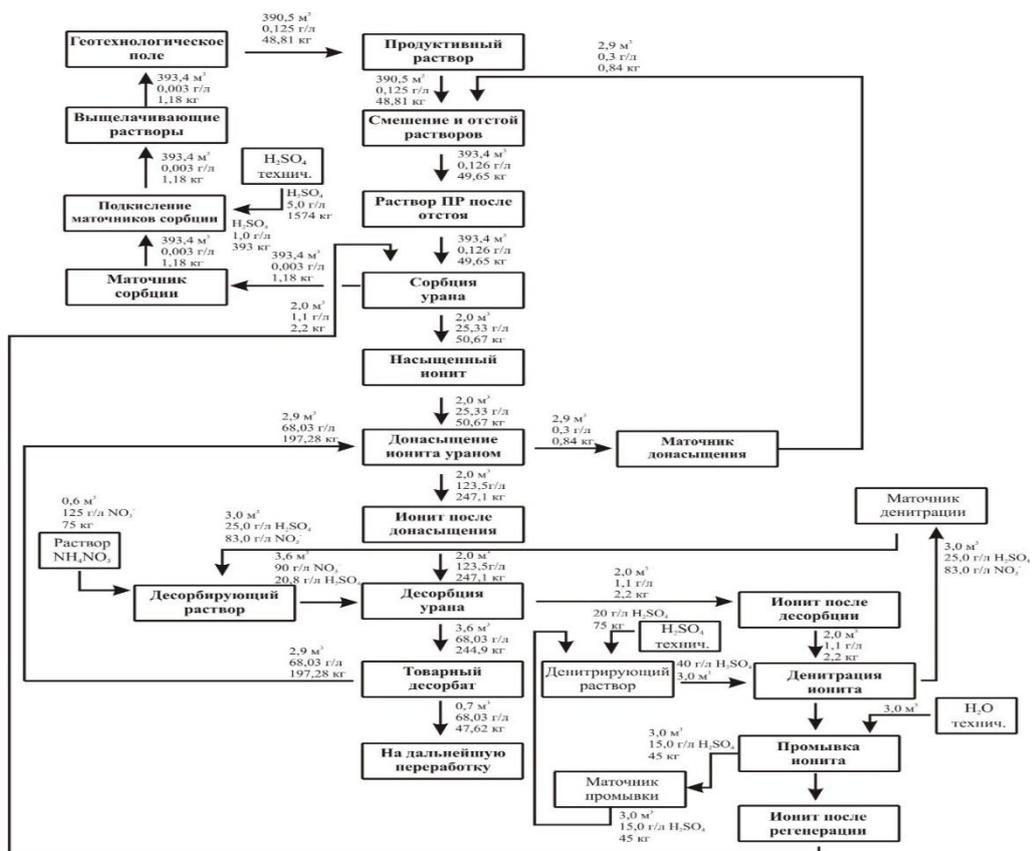
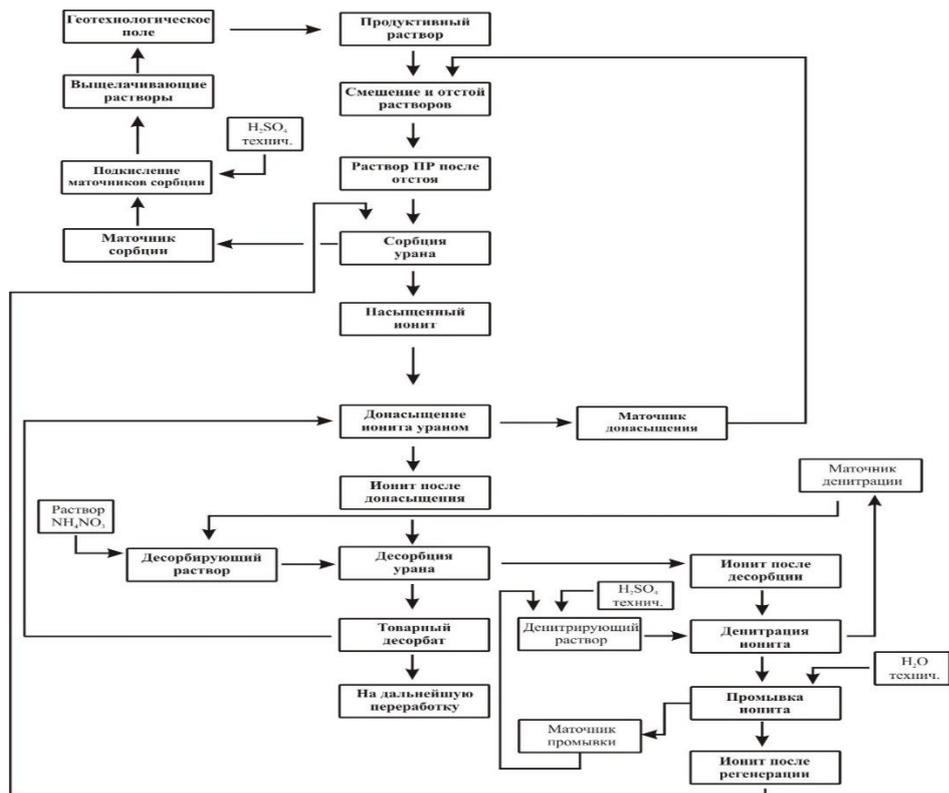


Рисунок 10-лист – Технологическая схема переработки продуктивных растворов и выпуск готовой продукции на руднике ПСВ урана

Таблица 2 – Расчет объемов пескоотстойников ПР и ВР при содержании урана в ПР – 125 мг/дм<sup>3</sup> (производительность 400 тонн урана в год в виде товарного десорбата)

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
1. Годовой фонд рабочего времени	$t_{\text{год}}$	час	8 400
2. Содержание урана в ПР	$C_{\text{ПР}}^U$	мг/дм <sup>3</sup>	125
3. Содержание урана в МС	$C_{\text{МС}}^U$	мг/дм <sup>3</sup>	3
4. Коэффициент извлечения урана из ПР	$K_{\text{извл}}$	%	97,6
5. Производительность полигона скважин	$V_{\text{полигона}}$	м <sup>3</sup> /час	390,5
6. Рабочий объем пескоотстойника с учетом коэффициента запаса	$K_{\text{зап}}$	Час	2,0
	$V_{\text{п/о}}$	м <sup>3</sup>	781
7. Объем «мертвого» объема пескоотстойника	$K_{\text{ост}}$	%	20
	$V_{\text{ост}}$	м <sup>3</sup>	156,2
8. Объем аварийного объема пескоотстойника	$K_{\text{авар}}$	%	20
	$V_{\text{авар}}$	м <sup>3</sup>	156,2
9. Общий объем пескоотстойника	$V_{\text{общ}}$	м <sup>3</sup>	1093
10. Принимаемый объем пескоотстойника	$V_{\text{общ}}$	м <sup>3</sup>	2000

Таблица 3 – Расчет необходимого количества колонн СНК – 3м при содержании урана в ПР – 125 мг/дм<sup>3</sup> (производительность 400 тонн урана в год в виде товарного десорбата)

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
1. Годовой фонд рабочего времени	$t_{\text{год}}$	Час	8 400
2. Производительность полигона скважин	$V_{\text{полигона}}$	м <sup>3</sup> /час	390,5
		тыс. м <sup>3</sup> /мес	274
		тыс. м <sup>3</sup> /год	3 280
3. Содержание урана в ПР	$C_{\text{пр}}^U$	мг/дм <sup>3</sup>	125
4. Содержание урана в МС	$C_{\text{МС}}^U$	мг/дм <sup>3</sup>	3
5. Коэффициент извлечения урана из ПР	$K_{\text{извл}}$	%	97,6

Продолжение таблицы 3

6. Производительность узла сорбции	$Q_{\text{сорбц}}^U$	кг/час	47,62
		т/мес	34,29
		т/год	400
7. Характеристика колонны СНК – 3м			
8. - диаметр	$D$	м	3,0
9. - высота рабочего слоя	$H_k$	м	7,0
10. - общий объём колоны	$V_k$	$M^3$	56
11. - площадь сечения колоны	$S_k$	$M^2$	7,1
12. - оптимальная линейная скорость движения растворов		$M^3/M^2/\text{час}$	25 – 35
13. - оптимальный расход растворов через СНК-3м	$V_k$	$M^3/\text{час}$	190 - 250
14. Расчетное количество колон СНК – 3м	$N_k$	штук	1,5
15. Принимаемое количество колон СНК – 3м	$N_{\text{фактич}}$	штук	2
16. Средняя производительность одной колоны СНК – 3м	$Q_{\text{СНК}}^U$	кг/час	25- 30
		т/мес	19
		т/год	231
17. Максимальная производительность узла сорбции с коэффициентом использования рабочего времени	$K_{\text{исп}}$	%	90
	$Q_{\text{сорбц} - \text{max}}^U$	кг/час	54
18. Максимальная производительность узла сорбции с коэффициентом использования рабочего времени	$Q_{\text{сорбц} - \text{max}}^U$	%	90
		кг/час	54
		т/мес	38
		т/год	454
19. Содержание урана в насыщенной смоле	$C_{\text{насыщ}}^U$	кг/т	60 - 80
		кг/ $M^3$	25 - 30
20. Содержание урана в регенерированной смоле	$C_{\text{остат}}^U$	кг/т	< 2,7
		кг/ $M^3$	< 1,1
21. Высота защитного слоя смолы	$H_{\text{защ. слой}}$	м	1,0
22. Объём защитного слоя смолы	$V_{\text{защ. слой}}$	$M^3$	7,1
23. Объём смолы, насыщаемой ураном за один час работы колоны СНК – 3м	$V_{\text{час}}^{\text{см}}$	$M^3$	1,0
24. Время между перегрузками	$t_{\text{передвиж}}$	час	6-8

СМОЛЫ			
-------	--	--	--

Таблица 4 – Расчет необходимого количества колонн СДК– 1500 (производительностью 400 тонн урана в год в виде товарного десорбата)

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Величина
1	2	3	4
1. Характеристика колонны СДК – 1 500:			
- диаметр	D	м	1,5
- площадь сечения колонны	S	м <sup>2</sup>	1,77
- общий объём колонны	V <sub>к</sub>	м <sup>3</sup>	60,0
- объём 1-ой ветви колонны	V <sub>в</sub>	м <sup>3</sup>	30,0
- высота зоны отмывки	H <sub>отм</sub>	м	1,0
- объём зоны отмывки	V <sub>отм</sub>	м <sup>3</sup>	2,7
- высота промежуточной зоны	H <sub>промежут</sub>	м	1,0
Объём промежуточной зоны	V <sub>промежут</sub>	м <sup>3</sup>	2,7
Объём зоны десорбции	V <sub>десорбц.</sub>	м <sup>3</sup>	24,6
2. Время нитратной десорбции	t <sub>десорб</sub>	час	10 - 12
3. Объём передвигаемой по колонне анионита	V <sub>см</sub> <sup>max</sup>	м <sup>3</sup>	2,5 - 2,0
4. Соотношение потоков анионит /десорбирующий раствор	Ж/Т	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1: (1,6-1,8)
5. Объём подачи десорбирующего раствора	V <sub>р-р</sub> <sup>max</sup>	м <sup>3</sup> /час	3,9 - 4,2
1. Содержание урана в насыщенной смоле	СнасыщU	кг/т	60 – 80
		кг/м <sup>3</sup>	25 – 30
2. Содержание урана в регенерированной смоле	СостатU	кг/т	<2,7
		кг/м <sup>3</sup>	<1,1
3. Количество урана, десорбируемое с анионита за 1 час	Q <sub>часU</sub>	кг	45 - 60
4. Соотношение потоков ТД в ГП/ТД на донасыщение	ГП/донасыщ	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1:3 – 1:4
5. Объём ТД в ГП	V <sub>ТДгп</sub>	м <sup>3</sup> /час	0,6-1,0
6. Содержание урана в товарном десорбате	СтдU	г/дм <sup>3</sup>	70 ± 10
7. Годовой фонд рабочего времени	t <sub>год</sub>	час	8 400
8. Годовая производительность установки	Q <sub>устU</sub>	т/год	400

Продолжение таблицы 4

9. Годовая производительность колонны с коэффициентом исп. рабочего времени	Кисп	%	85
	QгодU	тонн	320-430
10. Расчетное количество колонн СДК - 1500	Nк	штук	1
11. Принимаемое количество колонн СДК - 1500	Nфакт	штук	1
12. Максимальная производительность узла десорбции	Qдесорбц max	кг/час	51
		т/мес	37
		т/год	430

Таблица 5 – Спецификация на основное технологическое оборудование

№№ позиции	Наименование оборудования	Кол-во (шт.)	Материал	Техническая характеристика
<b>Пескоотстойники ПР и ВР и отделение сорбции</b>				
100	Пескоотстойник ПР	1		V=2000 м <sup>3</sup>
101	Пескоотстойник ВР	1		V=2000 м <sup>3</sup>
102/1-2	Насос центробежный АРР 53 -100	2		Q=400 м <sup>3</sup> /ч, Н=100 Nдв=75,0 кВт
102a/1-2	Система удаления воздуха	2		
103/1-2	Насос центробежный АРР 55 -100	2		Q=400 м <sup>3</sup> /ч, Н=100 Nдв=75,0 кВт
103a/1-2	Система удаления воздуха	2		
104/1-2	Колонна сорбционная СНК-3м	2	12X18Н10Т	D=3000, H=9600, V=56 м <sup>3</sup>
105/1-2	Бункер анионита	2	12X18Н10Т	V=10,0 м <sup>3</sup>
107	Буферная ёмкость насыщенной смолы СНК-3м	1	12X18Н10Т	V=20 м <sup>3</sup>

Продолжение таблицы 5

108	Кран однопролетный электрический подвесной ГОСТ 7890-93	1		Q = 1мс, Н = 6 м, Nобщ. = 2,24 кВт
<b>Отделение десорбции и регенерации ионообменной смолы</b>				
109	Сорбционно- десорбцион- ный контур СДК- 1500	1	10X17H13M2T	D=1500, H=15000, V=60 м <sup>3</sup>
110	Колонна денитрации КИ-2000	1	10X17H13M2T	D=2000, H=9600, V=30 м <sup>3</sup>
113/1	Бункер десорбированного анионита	1	10X17H13M2T	V=3,5 м <sup>3</sup>
111	Колонна промывки КИ-2000	1	10X17H13M2T	D=2000, H=9600, V=30 м <sup>3</sup>
113/2	Бункер регенерированного анионита	1	12X18H10T	V=3,5 м <sup>3</sup>
114	Емкость для технической воды	1	12X18H10T	V=10,0 м <sup>3</sup>
115/1-2	Насос центробежный CRN15 - 3	2		Q= 12,5 м <sup>3</sup> /ч, H=32 м, Nдв=4 кВт
116	Смеситель	1	ПНД	V=0,3 м <sup>3</sup>
117	Емкость для приготовления денитрирующих растворов	1	10X17H13M2T	V=10 м <sup>3</sup>
119/1-2	Насос CRNE 5-16	2		Q=5,7 м <sup>3</sup> /ч, H=80, м, Nдв=2,2 кВт
120	Ёмкость для хранения десорбирующего раствора	1	12X18H10T	V=50 м <sup>3</sup>
121/1-2	Насос центробежный CRNE 5-16	2		Q = 5,7 м <sup>3</sup> /час, H = 80,8 м

Продолжение таблицы 5

122/1-3	Сборник товарного десорбата	1	12X18H10T	V=50 м <sup>3</sup>
123/1-2	Насос центробежный CRNE 20-3	2		Q = 21 м <sup>3</sup> /час, Н = 34,8 м, N <sub>дв</sub> = 4,0 кВт
130	Насос центробежный CRNE 3 - 5	2		
132	Кран однопролетный ГОСТ 7890-93	1		Q = 5мс, Н = 18 м, N <sub>общ.</sub> = 9,7 кВт
201/1-3	Насос центробежный AP 12. 50.11.3	3		Q=20 м <sup>3</sup> /ч,Н=10 м, N <sub>дв</sub> =1,7 кВт
133/1-2	Насос центробежный SPK 8 -15/7	2		Q=8 м <sup>3</sup> /ч,Н=26 м, N <sub>дв</sub> =1,1 кВт
301/1,2	Винтовой компрессор GA 110-13	2		Q=13,5 м <sup>3</sup> /мин, N <sub>дв</sub> =110 кВт
303/1,2	Винтовой компрессор GA 15-10	2		Q=2,18 м <sup>3</sup> /мин, N <sub>дв</sub> =110 кВт
302	Воздухосборник ВВ-10	1		V=10 м <sup>3</sup>
304	Воздухосборник ВВ-10			V=10 м <sup>3</sup>

Таблица 6 – Спецификация узла приготовления аммиачной селитры

№.№ позиции	Наименование оборудования	Кол-во (шт.)	Материал	Техническая характеристика
1	Емкость для приготовления десорбирующего раствора, с подогревом	1	12X18H10T	V=10 м <sup>3</sup>
2	Реактор растворения аммиачной селитры	1	12X18H10T	V=15 м <sup>3</sup> , Мешалка = 970 об/мин

Продолжение таблицы 6

3	Бак накопитель раствора аммиачной селитры	1	12X18H10T	V=40 м <sup>3</sup>
4	Бункер с дозировкой по весу	1		
5/1-2	Агрегат электронасосный CRN 45-1	2		Q = 45 м <sup>3</sup> /час, Н = 20 м
6/1-2	Насос центробежный CRN 15-3	2		Q = 17 м <sup>3</sup> /час, Н = 40 м
7	Насос погружной ТХИ 8/40-1,3-К-М-УЗ	1		Q = 8 м <sup>3</sup> /час, Н = 40 м
8	Кран электрический подвесной	1		Q = 3,2 т., Н = 6 м
9	Кран электрический подвесной	1		Q = 1,0 т., Н = 12 м
10/1-2	Фильтр карманный SKS 8	2		Q = 45м <sup>3</sup> /час
11/1-2	Фильтр карманный SKS 10	2		Q = 70м <sup>3</sup> /час

Таблица 7 – Спецификация шламоотстойника с узлом фильтрации

№№ позиции	Наименование оборудования	Кол-во (шт.)	Материал	Техническая характеристика
1	Кран электрический подвесной КМП 3,2	1		Q = 3,2 т., L = 6 м
2	Фильтр пресс рамный ФKM 65	1		V=0,56 м <sup>3</sup> , F= 65 м <sup>2</sup>
11/1-2	Насос погружной вертикальный ПНВ-2К	2		Q = 30 м <sup>3</sup> /час, Н = 25 м
12/1-2	Насос центробежный LSB 80	2		Q = 50 м <sup>3</sup> /час, Н = 30 м

Продолжение таблицы 7

13/1-3	Насос воздушный мембранный Т 800	3		$Q = 24 \text{ м}^3/\text{час}$ , $P = 8 \text{ бар}$
14	ТУК 118	8		
15	Течка к фильтру	1		
16	Устройство маневровое	1		$Q = 10,0 \text{ т}$
18	Тележка			$Q = 10,0 \text{ т}$
19	Насос погружной дренажный	1		$Q = 20 \text{ м}^3/\text{час}$ , $H = 10 \text{ м}$
21	Шламоотстойник	1		$V = 200 \text{ м}^3$

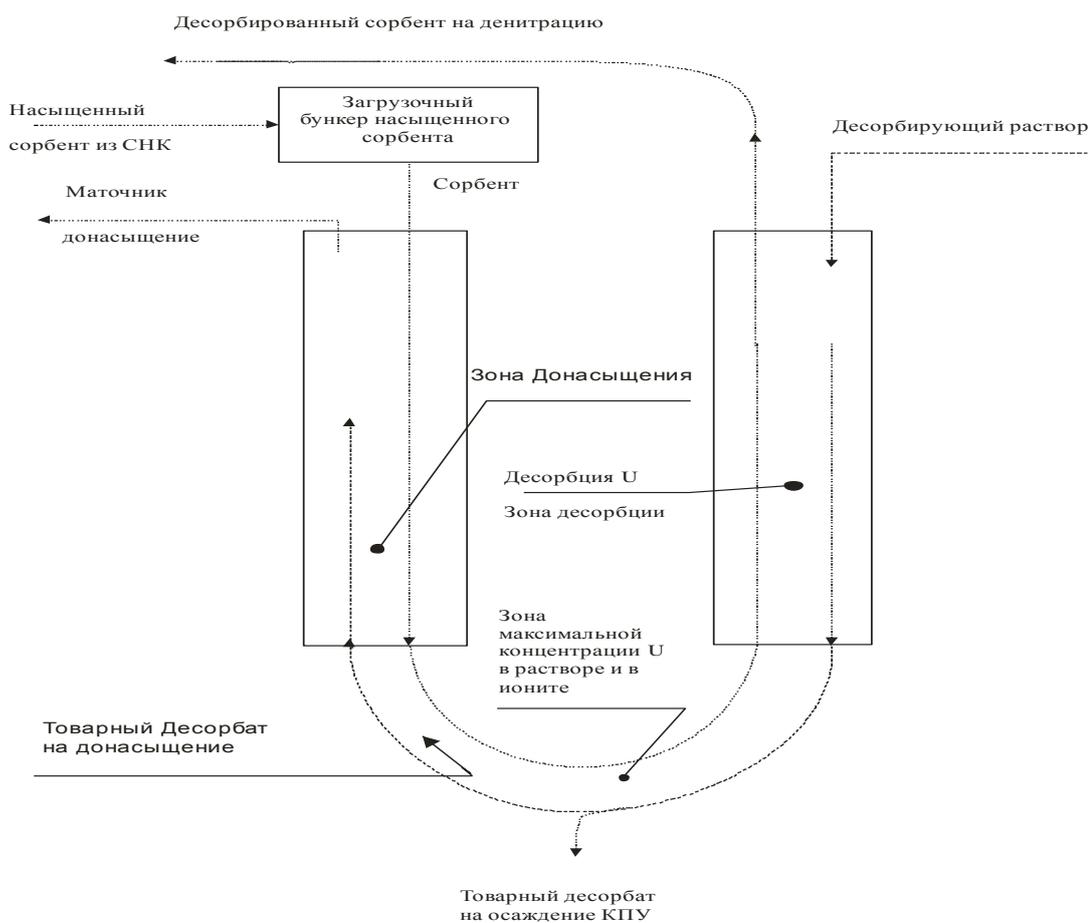


Рисунок 11 – Схема десорбирующей колонны

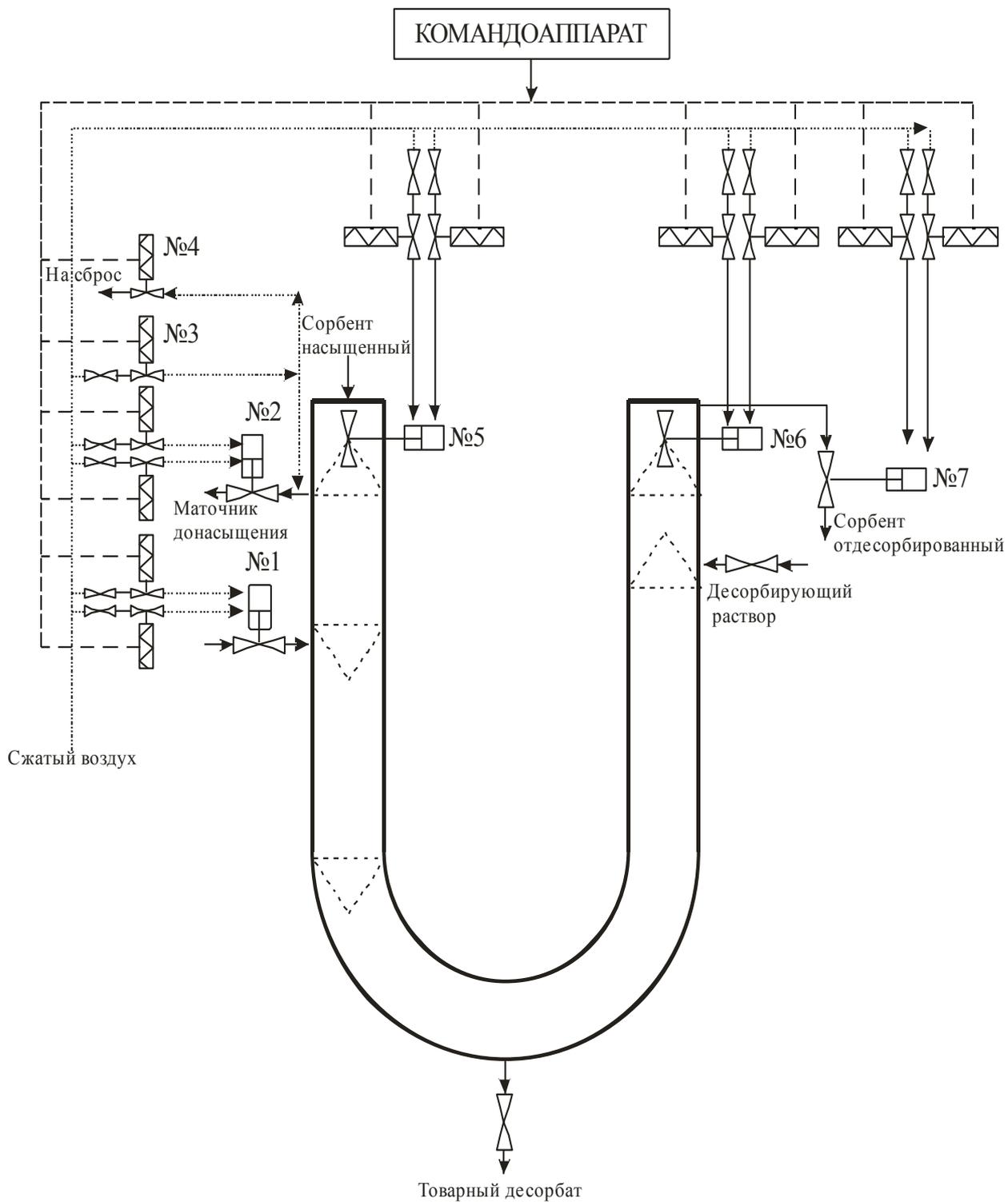


Рисунок 11, лист – Схема десорбирующей колонны

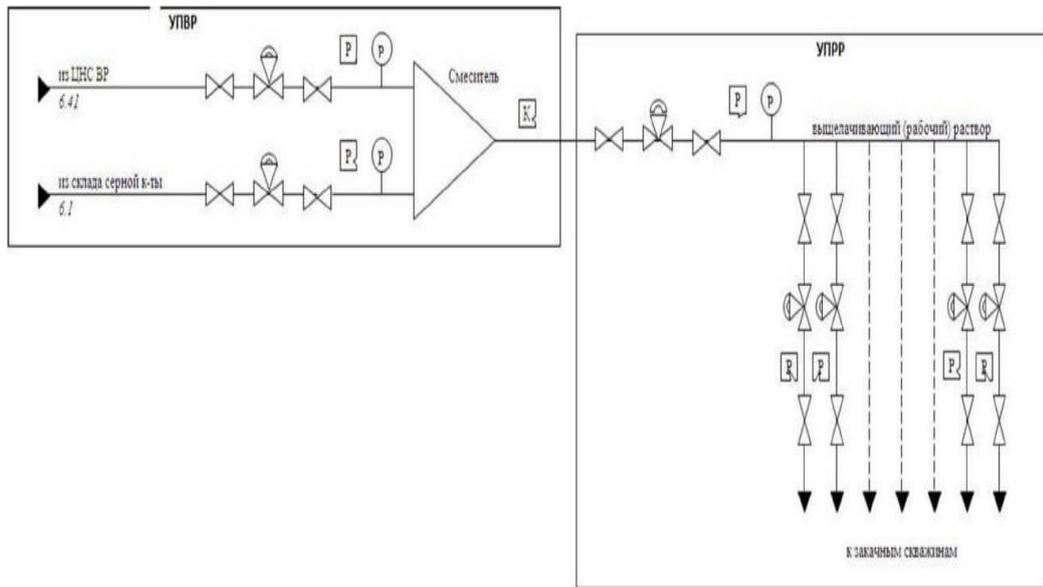


Рисунок 12 – Схема обвязки технологического узла приготовления ВР и распределения ВР (УПВР и УПРР)

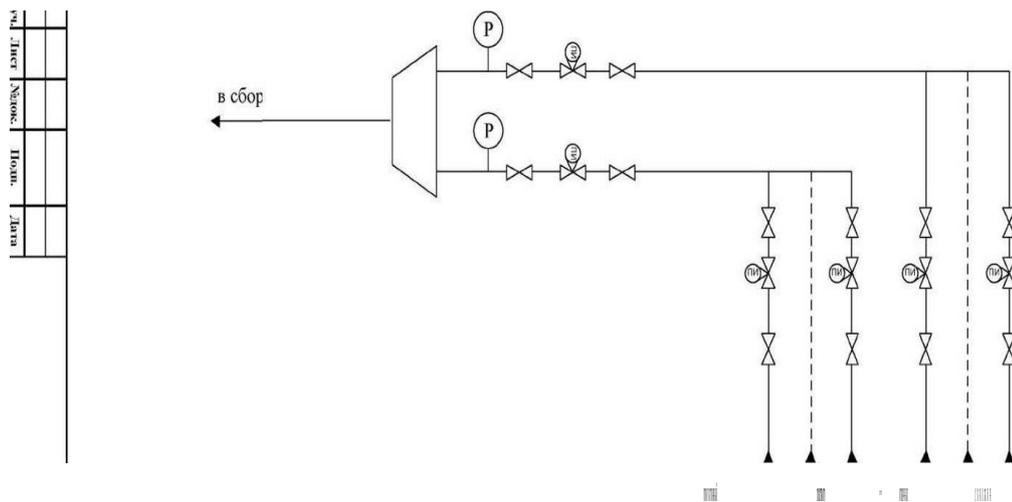
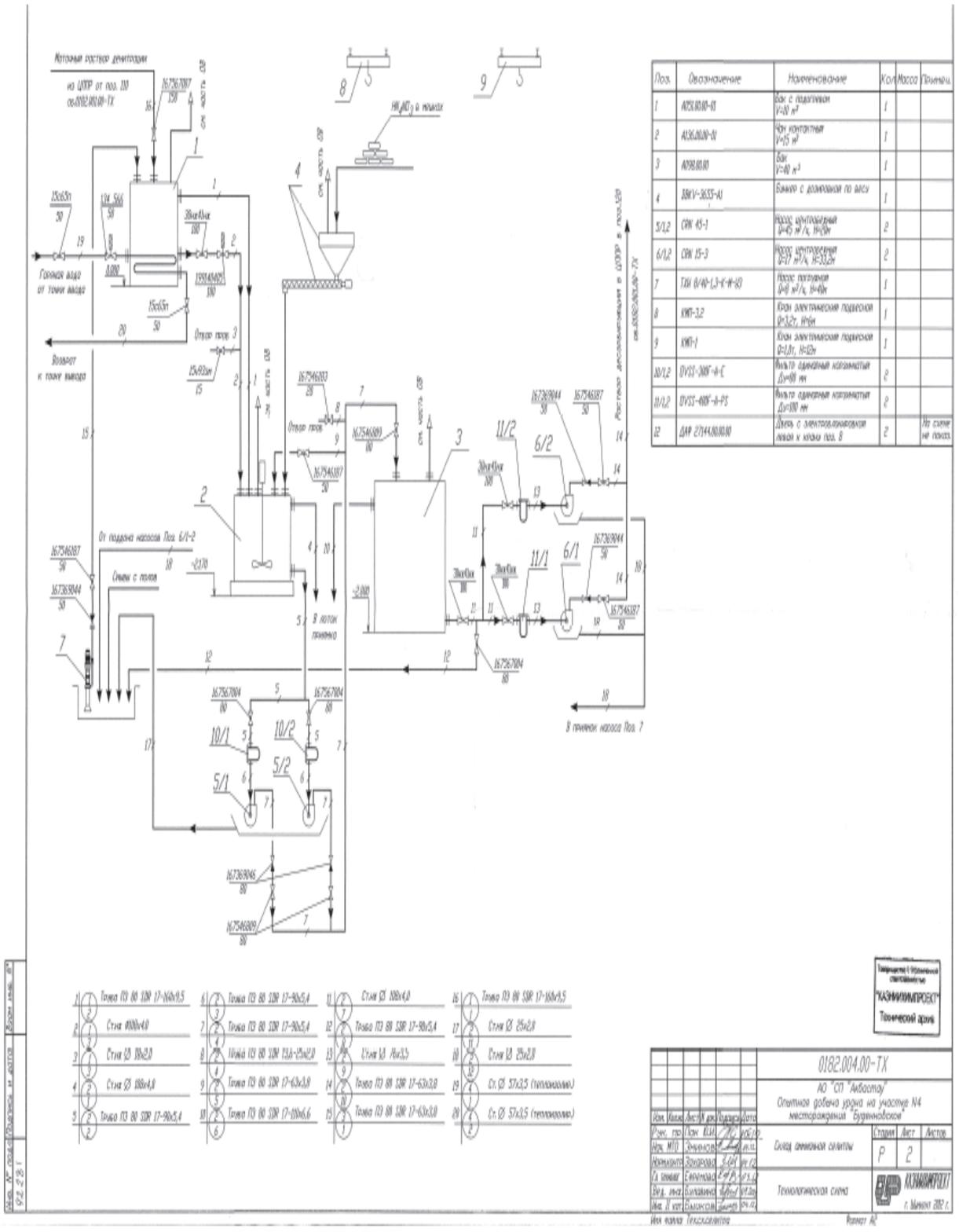


Рисунок 13 – Схема обвязки узла приёма продуктивных растворов урана в УПРР



Поз.	Описание	Наименование	Кол.	Масса	Примеч.
1		АВЗ-000-01	1		
2		АВЗ-000-01	1		
3		АВЗ-000	1		
4		ВМ1-3033-01	1		
5/1,2		Воздух центробежный Р-45 №1/х, Н-01	2		
6/1,2		Воздух центробежный Р-37 №1/х, Н-30,20	2		
7		ТН В/Ф-1,3-Г-#10	1		
8		ВМ1-32	1		
9		ВМ1-1	1		
10/1,2		Валы от односторонней планетарной Д-100 мм	2		
11/1,2		Валы от односторонней планетарной Д-100 мм	2		
12		Двигатель электродвигательный асинхронный 4-полюсный 0,75 кВт	2		По схеме не показ.

- |                              |                               |                               |                               |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х1,5 | 6) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х5,4  | 11) Стан ЦЗ 100х4,0           | 16) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х1,5 |
| 2) Стан ЦЗ 100х4,0           | 7) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х5,4  | 12) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х5,4 | 17) Стан ЦЗ 25х2,0            |
| 3) Стан ЦЗ 100х2,0           | 8) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х2,0  | 13) Стан ЦЗ 100х3,5           | 18) Стан ЦЗ 25х2,0            |
| 4) Стан ЦЗ 100х4,0           | 9) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х3,0  | 14) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х3,0 | 19) Ст. ЦЗ 57х2,5 (ремонтный) |
| 5) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х5,4 | 10) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х6,6 | 15) Точка ПЗ 00 ДОР 17-00х3,0 | 20) Ст. ЦЗ 57х2,5 (ремонтный) |

Информация о выполнении работ  
**КАЗНИИПРОСП**  
 Технический отдел

0182.004.00-ТХ

АО "СП "Абсолют"

Служба добычи угля на участке И4

месторождения "Буринадокос"

Исполн.	Провер.	Дата	Стр.	Лист	Архив
Иванов И.И.	Петров П.П.	15.05.2024	Р	2	

Технологическая схема

Иванов И.И.

Рисунок 14 – Аппаратурно – технологическая схема приготовления десорбирующего раствора



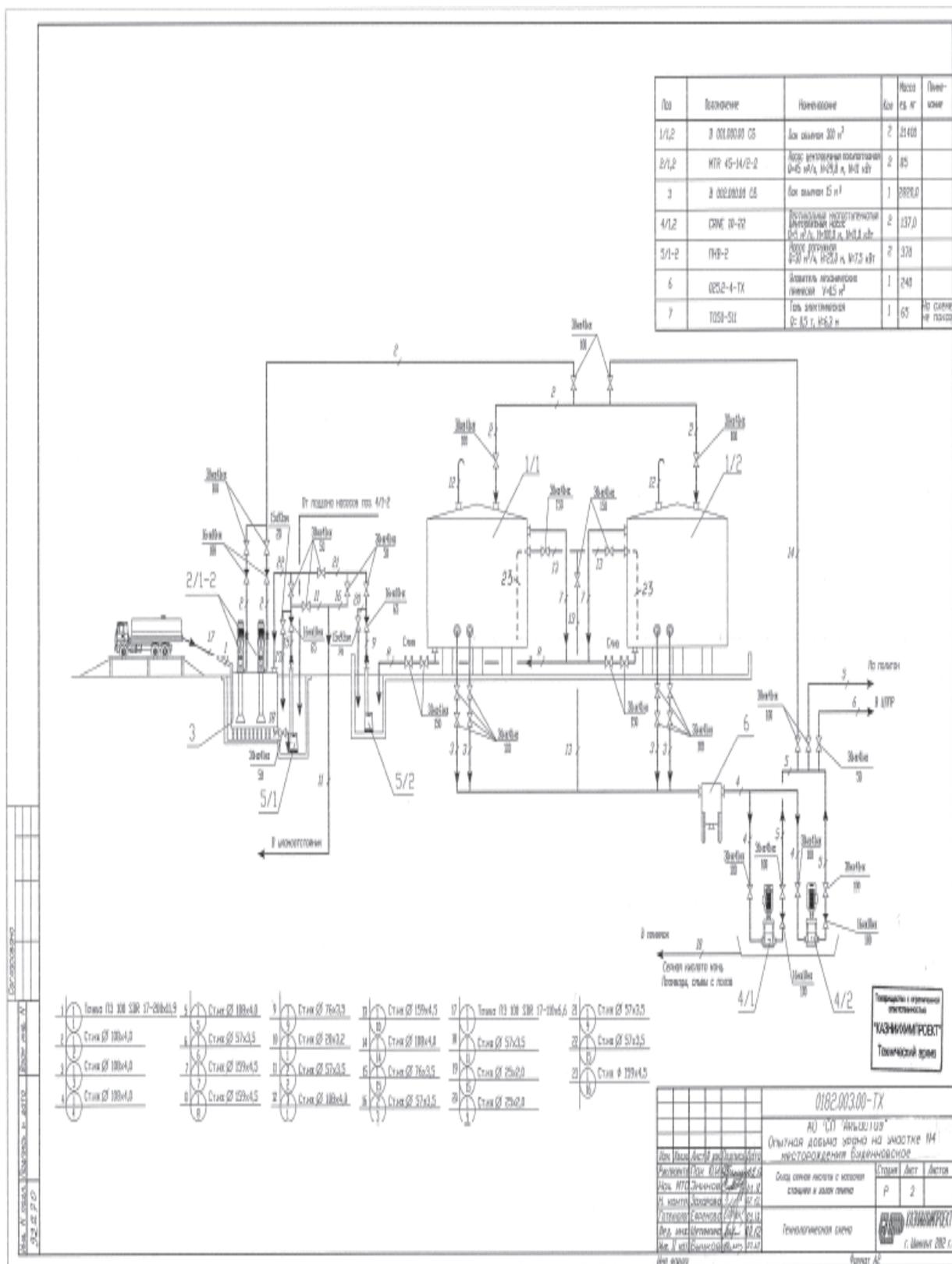


Рисунок 16 – Аппаратурно – технологическая схема склада серной кислоты на складе жидких реагентов



Таблица 15 – Солевой состав продуктивных растворов

Наименование	Содержание
$\text{Fe}^{3+}$	0,1÷0,3 г/дм <sup>3</sup>
$\text{Fe}^{2+}$	0,7÷1,5 г/дм <sup>3</sup>
Na+K	0,4÷0,5 г/дм <sup>3</sup>
$\text{Mg}^{2+}$	0,3÷0,4 г/дм <sup>3</sup>
$\text{Al}^{3+}$	0,5÷0,7 г/дм <sup>3</sup>
$\text{NO}_3^-$	0,1÷0,35 г/дм <sup>3</sup>
$\text{SO}_4^{2-}$	5÷16,0 г/дм <sup>3</sup>
Cl <sup>-</sup>	1,0÷2,0 г/дм <sup>3</sup>
$\text{SiO}_2$	0,1÷0,35 г/дм <sup>3</sup>
Сухой остаток	11,0÷12,0 г/дм <sup>3</sup>
pH	1,8÷2,2 ед. pH

Данные по солевому составу раствора показывают что содержание  $\text{Fe}^{2+}$  составляет до 1,5 г/л. Известно, что двухвалентное железо является восстановителем шестивалентного урана до четырехвалентного урана, что вызывает переосаждение урана. В то же время трехвалентное железо активный окислитель четырехвалентного железа до шестивалентной формы (растворимой). Таким образом, существует высокий потенциал использования железоокисляющих бактерий для повышения ОВП раствора, биоокисления двухвалентного железа до трехвалентного железа и будет способствовать повышению содержания урана в продуктивном растворе.

### 3 Экономическая часть

#### Удельные расходы химических реагентов и материалов.

Удельная норма расхода – это максимально допустимое плановое количество ресурсов (основных химических реагентов, материалов и энергоресурсов) на производство единицы ГП.

Учётная единица выпускаемой продукции – 1 кг урана в виде **товарного десорбата**.

Номенклатура химических реагентов и материалов для переработки продуктивных растворов и выпуска товарного десорбата, подлежащих нормированию, приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Химические реагенты и материалы для переработки продуктивного раствора

Потребляемые химические реагенты и материалы	Назначение
<b>Основные химические реагенты</b>	
Серная кислота	Для приготовления денитрирующего раствора
Аммиачная селитра	Для приготовления десорбирующего раствора
Анионит	Сорбция урана из растворов ПСВ; регенерация насыщенного анионита
<b>Материалы</b>	
Сетка из н/стали	Сорбция урана из растворов ПСВ; регенерация насыщенного анионита
Вода техническая	Промывка регенерированного анионита
<b>Энергоресурсы</b>	
Электроэнергия	Обеспечение работы оборудования ЦППР

Расчёт удельных расходов основных химических реагентов, материалов и энергоресурсов проводится на единицу массы урана (кг) в единицу времени.

Условное обозначение урана в виде готовой продукции –  $Q^U$ , кг/час.

В основу расчётов положен материальный баланс цеха по переработке продуктивных растворов ПСВ урана по основному компоненту (урану) для ПСВ урана рудника «Куланды».

#### Удельный расход серной кислоты

Удельная норма расхода серной кислоты на переработку продуктивных растворов ПСВ урана и выпуск готовой продукции складывается из удельных расходов на приготовление:

- раствора для денитрации ионообменной смолы  $Q_{Денитрир.р-р}^{с.к.(100\%)}$

Удельная норма расхода серной кислоты (в соответствии с ГОСТ 2184-77 – не менее 92,5%) на переработку продуктивных растворов ПСВ урана и выпуска готовой продукции определяется из материального баланса и рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{Перераб.}}^{\text{с.к. (техн.)}} = \frac{Q_{\text{Перераб.}}}{Q^U} = \frac{75,0}{47,62} = 1,57 \text{ кг/кг U} \quad (5)$$

### Удельная норма расхода аммиачной селитры

Удельная норма расхода нитрат-ионов на приготовление исходного десорбирующего раствора определяется из материального баланса производства и рассчитывается по формуле (6):

$$Q_{\text{Перераб.}}^{\text{NO}_3^-} = \frac{(C_{\text{Десорбир. р-р}}^{\text{NO}_3^-} \times V_{\text{Десорбир. р-р}} - C_{\text{Р-р. после-денитр.}}^{\text{NO}_3^-} \times V_{\text{Р-р. после-денитр.}})}{Q^U} = \frac{90 \times 3,6 - 83 \times 3}{47,62} = 1,57$$

кг/кг U

где:  $C_{\text{Десорбир. р-р}}^{\text{NO}_3^-}$  – концентрация нитрат-ионов в исходном десорбирующем растворе, г/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{Десорбир. р-р}}$  – объём исходного десорбирующего раствора, м<sup>3</sup>/час;

$C_{\text{Р-р. после-денитр.}}^{\text{NO}_3^-}$  – концентрация нитрат-ионов в растворе после денитрации, г/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{Р-р. после-денитр.}}$  – объём раствора после денитрации пошедший на приготовление десорбирующего раствора, м<sup>3</sup>/час.

Удельная норма расхода аммиачной селитры на приготовление исходного десорбирующего раствора определяется по формуле:

$$Q_{\text{Перераб.}}^{\text{Ам.селитра}} = \frac{Q_{\text{Перераб.}}^{\text{NO}_3^-}}{C_{\text{Ам.селитра}}(\text{NO}_3^-)} = \frac{1,57}{0,775} = 2,02 \text{ кг/кг U}; \quad (7)$$

где:  $C_{\text{Ам.селитра}}(\text{NO}_3^-)$  – содержание нитрат-ионов в аммиачной селитре, равное:

$$C_{\text{Ам.селитра}}(\text{NO}_3^-) = \frac{MB^{\text{NO}_3^-}}{MB^{\text{NH}_4\text{NO}_3}} = \frac{62}{80} = 0,775; \quad (8)$$

где:  $MB^{\text{NO}_3^-}$  – молекулярный вес нитрат-ионов, равный 62 г/моль;

$MB^{\text{NH}_4\text{NO}_3}$  – молекулярный вес аммиачной селитры, равный 80 г/моль.

Для определения расчётного удельного расхода аммиачной селитры необходимо учитывать потери, связанные в основном с её разложением при

транспортировке и хранении. Поэтому принимается поправочный коэффициент, равный  $K_{потерь} = 1,07$

Тогда формула для определения удельной нормы расхода аммиачной селитры имеет следующий вид:

$$Q^{Ам.селитра} = Q_{Перераб.}^{Ам.селитра} \times K_{потерь} = 2,2 \text{ кг/кг U (8)}$$

### Удельный расход воды

Удельная норма расхода технической воды складывается из расходов:

- на растворение аммиачной селитры;
- на промывку денитрированной ионообменной смолы.
- на прочие технологические нужды (гидроуборка полов, оборудования и т.д.).

$$Q^{Техн.вода} = \frac{V_{Промывка-сорбента}^{Технич.вода} + V_{Раств.селитры}^{Технич.воды} + V_{Тех.нужды}^{Технич.воды}}{Q^U} = 0,07 \text{ м}^3/\text{кг U (9)}$$

где:  $V_{Промывка-сорбента}^{Техн.вода}$  – расход технической воды на промывку денитрированного анионита, м<sup>3</sup>/час;

$V_{Раств.селитры}^{Технич.воды}$  – расход технической воды на растворение аммиачной селитры, м<sup>3</sup>/час.

$V_{Тех.нужды}^{Технич.воды}$  – расход технической воды на технологические нужды, м<sup>3</sup>/час.

### Удельный расход электроэнергии

В основу расчёта удельного расхода электроэнергии на переработку продуктивных растворов положены:

- технологические схемы процессов;
- параметры ведения отдельных стадий технологических процессов;
- виды основного технологического и вспомогательного оборудования:
  - электродвигатели перекачных насосных агрегатов;
  - электродвигатели мешалок чанов контактных, реакторов-осадителей;
- количество единиц оборудования (в работе, в резерве);
- установленная мощность потребителей (максимальная, минимальная);
- средняя нагрузка за максимально нагруженную рабочую смену;
- максимальная нагрузка потребителей.

Удельный расход электроэнергии определяется по формуле:

$$Q_U^{Эл-энергия} = \frac{Q_{см}^{max-нагрузка}}{Q_U} = 1,54 \text{ кВт-час/кг U (10)}$$

### Удельный расход сжатого воздуха

В основу расчёта удельного расхода сжатого воздуха на переработку продуктивных растворов положены:

- технологические схемы процессов;
- параметры ведения отдельных стадий технологических процессов;

- виды основного технологического и вспомогательного оборудования:
    - эрлифты передвижки анионита между рабочими аппаратами технологических процессов;
  - количество единиц оборудования (в работе, в резерве);
  - средняя нагрузка за максимально нагруженную рабочую смену.
- Удельный расход сжатого воздуха определяется по формуле:

$$Q_U^{Сж.воздух} = \frac{Q_{см}^{Сж.воздух}}{Q_U} = 5,0 \text{ м}^3/\text{кг U} \quad (11)$$

#### Удельные расходы реагентов и материалов

Удельные нормы расхода ионообменной смолы, сетки из нержавеющей стали определяются экспериментальным (опытным) путём, в основу которого положен практический опыт урандобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром», работающих по таким же технологическим схемам и использующими аналогичное основное технологическое оборудование, а также на основании утвержденного бюджета АО «СП «Акбастау» на текущий год, таблица 9.

Таблица 9 - Ежегодные удельные расходы основных видов сырья, материалов и энергоресурсов

Наименование расходуемых видов химреагентов, материалов и энергоресурсов	Единицы измерения	По проекту	Удельный расход (плановый)			
			2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Кислота серная 92,5%	кг/кг	0,8				
Селитра аммиачная	кг/кг	2,2				
Анионит	м <sup>3</sup> /т	0,075				
Сетка нержавеющая	м <sup>2</sup> /кг	0,0001				
Вода техническая	м <sup>3</sup> /кг	0,07				
Электроэнергия	кВт·ч/кг	1,54				
Сжатый воздух	м <sup>3</sup> /кг	5,0				

Расчёт потребности в сильноосновном анионите для единовременной загрузки в основное технологическое оборудование

Расчет потребности в сильноосновном анионите марки Ambersep 920 U Cl<sup>-</sup> (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> или в его аналогах для заполнения основного технологического оборудования представлен в Приложении М и составляет 265 м<sup>3</sup>.

#### 4 Техника безопасности и охрана окружающей среды

Специфической особенностью решения проблем охраны окружающей среды на месторождении является то, что к общему решению задач по охране земель, недр, вод, атмосферы добавляется необходимость решения задач по обеспечению радиационной безопасности окружающей среды.

Урановое оруденение локализуется на глубине порядка 70-1000 метров и радиоактивного влияния на поверхность при этом не оказывает. Проведенная радиометрическая съемка поверхности показала, что на предлагаемом под строительство полигона ПСВ месте, интенсивность гамма дозы не превышает 20 мкр/час.

Отмечается, что даже в случае безупречного скважинного подземного способа добычи урана и правильного управления отходами переработки может иметь место опасность возникновения риска внешнего и внутреннего воздействия любого уровня.

В процессе ПСВ урана на месторождении возможно случайное растекание растворов, сопровождающееся загрязнением поверхности.

Недолговременное пребывание персонала на таких участках особой опасности не представляет.

При отработке месторождения способом скважинного подземного выщелачивания образуются газообразные радиоактивные вещества (радон-222), жидкие и твердые отходы, содержащие естественные радиоактивные изотопы (радий, уран).

**ПРИМЕЧАНИЕ** – При добыче урана методом ПСВ применяются обычные меры защиты от радиации, большая часть радиоактивности рудного тела остается глубоко под землей и, следовательно, выброс радона повышается минимально, а рудная пыль отсутствует.

Технология скважинного ПВ урана из недруги связана с извлечением на поверхность лишь небольшого количества горнорудной массы при подготовке эксплуатационных блоков к отработке и является практически безотходным производством.

В местах пролива растворов поверхность земли может загрязняться сульфатами и естественными радионуклидами уран-радиевого ряда.

При правильном ведении процесса ПСВ, создании оборотной системы водоснабжения, поверхность практически не загрязняется, что приводит к минимальным затратам на рекультивацию.

Основные виды радиационного и химического загрязнения:

1. Радиационное излучение;
2. Загрязнение воздуха радионуклидами и их поступление в организм;
3. Загрязнение воздуха токсичными химическими веществами;
4. Загрязнение рабочих поверхностей оборудования, зданий и сооружений радионуклидами;
5. Загрязнение почвы полигонов и территории ЦППР;
6. Загрязнения вод.

В целях предотвращения указанных выше загрязнений и снижения их влияния на окружающую среду предусмотрены следующие мероприятия.

**По пункту 1:**

- оповещение персонала о наличии зон, где предполагается проявление радиоактивности;
- вывешивание предупредительных и информационных знаков по контуру рабочей зоны;
- проведение 1 раз в год гамма-съёмки территории полигона технологических скважин и измерения мощности экспозиционной дозы 1 раз в месяц в ЦППР (помещение, оборудование).

**По пункту 2:**

- использование системы местной вентиляции с улавливанием аэрозолей в аппарате АСГБ здания ЦППР;
- замеры загрязнённости долгоживущими радиоактивными аэрозолями на участках сорбции с периодичностью один раз в месяц;
- ежесменный контроль за герметичностью технологических трубопроводов полигона ПСВ.

**По пункту 3:**

- выбор специальных нержавеющей сталей для оборудования, стойких к воздействию используемых технологических растворов;
- организация местных отсосов со всего технологического оборудования.

**По пункту 4:**

- организация ежесменной гидроуборки рабочих зон технологических процессов;
- дезактивация оборудования и трубопроводов, выводимых в ремонт или подлежащих захоронению;
- максимальная автоматизация технологических процессов.

**По пункту 5:**

- ежесменный контроль проливов и течей производится не только визуально при регулярных осмотрах оборудования и трубопроводов, но и средствами автоматики;
- периодическая дезактивация почвы полигона, территории ЦППР и пром. площадки по мере выявления повышенных очагов загрязнения с отправкой твёрдых слаборадиоактивных отходов на участок временного хранения твёрдых низкорadioактивных отходов рудника ПСВ.

**По пункту 6:**

- перед сдачей в эксплуатацию каждая скважина проверяется на целостность обсадной колонны;
- проведение ежеквартального контроля целостности обсадной колонны каждой скважины;
- бурение наблюдательных скважин вокруг технологических полей;

-проведение ежеквартального комплексного опробования наблюдательных скважин, расположенных на вероятных путях растекания технологических растворов;

- ежеквартальный замер пьезометрических уровней в наблюдательных скважинах;

-оперативный контроль и управление процессом выщелачивания посредством регулирования расхода ВР по блокам и скважинам и концентрации серной кислоты в ВР;

-использование в качестве буферных ёмкостей ПР и ВР пескоотстойников с системой контроля за состоянием противofильтрационного экрана, выполненного из кислотостойких материалов, а также наличием резервного пескоотстойника, используемого в аварийных ситуациях как накопитель и испаритель, связанных с дебалансом растворов ПР и ВР.

#### **Отходы производства**

Образующиеся в процессе жизнедеятельности рудника отходы можно классифицировать как – низкоактивные.

##### **2.1.1. Газообразные сбросы в атмосферу.**

Одним из источников радиоактивности на урановых рудниках и заводах являются радиоактивная пыль и газы.

Газовые выбросы могут нести с собой во внешнюю среду радиоактивную пыль и радон.

Пылегазообразными отходами на урановых предприятиях являются:

- технологические газы;
- вентиляционные газы;

Газообразные выбросы вентиляционных систем от оборудования и обменной вентиляции содержат концентрации ВХВ на уровне и ниже ПДК, что позволяет выбрасывать их в атмосферу без очистки.

##### **Жидкие отходы**

Замкнутая схема движения потоков на перерабатывающем комплексе и низкие удельные расходы применяемых реагентов позволяют избежать появления дебалансовых объёмов технологических растворов и исключить из схемы организованные жидкие и твёрдые сбросы вредных химических веществ, негативно влияющих на окружающую среду.

Для ликвидации возможных аварийных ситуаций, ведущих к дебалансу растворов ВР и ПР, предусмотрен

резервный пескоотстойник, используемый как накопитель и испаритель дебалансных растворов.

Прочие жидкие отходы представлены двумя типами:

- хоз.фекальные сточные воды;
- ливневые и талые воды.

На промышленной площадке хоз. фекальные сточные воды отводятся самотёком в очистные сооружения.

Ливневые и талые воды с кровли зданий отводятся непосредственно на отмостку зданий и далее по спланированной поверхности на естественную поверхность.

Твёрдые слаборадиоактивные и токсичные химические отходы

В процессе работ по ПСВ урана на месторождении твёрдые низкорadioактивные отходы будут представлены в основном:

- песками и илами, поступающими с продуктивными растворами;
- крошкой и боем ионообменной анионита.

К обычным твёрдым отходам относятся:

- использованные материалы, оборудование и запасные части к нему;
- строительный мусор;
- объёмные материалы и бытовой мусор.

К токсичным химическим отходам относятся:

- оборотные технологические растворы.

Данные отходы после проверки на радиоактивное загрязнение будут вывозиться в соответствующие разрешенные места хранения и переработки отходов.

Расчет количества твёрдых отходов

1. Предельно возможное количество твёрдых отходов в виде песков и илов, поступающих с продуктивными растворами при содержании в них твёрдых взвесей не более  $20 \text{ мг/дм}^3$  и проектном объёме продуктивных растворов, равном  $3\,200 \text{ тыс. м}^3$  (среднегодовой объём перерабатываемых растворов), составит:

$$20 \text{ г/м}^3 \times 3\,280 \text{ тыс. м}^3 = 65,6 \text{ т}$$

Расчёты процесса осаждения твёрдых взвесей в пескоотстойниках ПР и ВР, а также результаты производственной деятельности рудников показывают, что осаждается не более 50 % поступившего количества песков и илов, поэтому количество полученных отходов будет не более:

$$65,6 \text{ т} \times 0,5 = 32,8 \text{ т или } 0,082 \text{ кг ТРО на } 1 \text{ кг урана}$$

2. Предельно возможное количество твёрдых отходов в виде крошки и боя разрушенных частиц анионита при удельном расходе анионита не более  $0,075 \text{ м}^3/\text{кг}$  урана и производительности сорбционного отделения, равного 400 т. урана в год, составит:

$$0,075 \times 400 = 30 \text{ т. или } 0,075 \text{ кг ТРО на } 1 \text{ кг урана}$$

3. Всего предельно возможное количество твёрдых отходов будет не более:

$$32,8 + 30 = 62,8 \text{ т или } 0,157 \text{ кг ТРО на } 1 \text{ кг урана}$$

Результаты расчётов приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Результаты расчетов

Наименование отходов, характеристика, состав, аппарат или стадия образования	Направление использования, метод очистки или уничтожения	Ед. изм.	Количество отходов на 1 кг урана
1	2	3	4
1.Газообразные отходы производства отсутствуют.			
2.Жидкие отходы производства отсутствуют.			
3.Твердые отходы производства			
3.1 «Серый кек» - смесь песка и ила при осаждении твердых частиц из ПР в отстойниках ПР и ВР; насыпной вес 800-850 кг/м <sup>3</sup> ; влажность менее 40%; содержание урана – менее 0,3% в сухом веществе.	Складирование на площадке временного хранения твердых радиоактивных отходов с отправкой их на дальнейшее захоронение	кг/кг U	0,082
3.2 Крошка, бой разрушенных частиц анионита; насыпной вес 850-950 кг\м <sup>3</sup> ; влажность менее 40%; содержание урана - менее 1% в сухом веществе.	Складирование на площадке временного хранения твердых радиоактивных отходов с отправкой их на дальнейшее захоронение	кг/кг U	0,075

Общие принципы организации работы по охране труда на предприятии определяются основными направлениями государственной политики в области охраны труда, обязанностями работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.

Организация работы по охране труда на производстве заключается в создании эффективной системы сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Безопасные условия труда на производстве определяются так же должностными инструкциями, инструкциями по безопасности и охране труда с учётом особенностей работы на каждом переделе. Все работы должны выполняться в строгом соответствии с технологическим регламентом и рабочими инструкциями. Правилами внутреннего распорядка регламентируется пребывание персонала на рабочих местах, пребывание посторонних лиц на рабочих местах категорически запрещается.

К опасным производственным факторам относятся:

- опасность поражения химически агрессивными веществами и их растворами (серная кислота и т.д.);

- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных веществ;
- опасность поражения электрическим током;
- наличие вращающихся частей и механизмов оборудования;
- наличие оборудования и трубопроводов, работающих под давлением;
- опасность термических ожогов горячей водой и паром;
- работа с пожаро- и взрывоопасными жидкостями и веществами;
- опасность падения с высоты.

К числу специфических факторов, оказывающих вредное воздействие, относятся:

- наличие ионизирующего излучения;
- радиоактивный газ радон (продукт распада радия – 226 и урана - 235, - 238) в атмосфере и дочерние продукты его распада;
- запыленность и загазованность радиоактивными веществами семейства урана, находящимися в атмосфере в виде пыли и аэрозолей.

Ввиду перечисленных факторов и по характеристике процесса, производство относится к вредным.

Все работники обеспечиваются спецодеждой, индивидуальными средствами защиты, бытовыми помещениями, расположенными в административно-бытовом комплексе (АБК). В состав АБК входят: помещение для чистой одежды, спец. одежды, душевые, столовая, прачечная, помещение дозиметрического контроля и ряд других помещений.

#### **Общие положения при работе с агрессивными жидкостями**

Все работы, связанные с ремонтом насосов, трубопроводов и запорной арматуры в агрессивных средах, необходимо проводить по «Наряду-допуску на работы повышенной опасности» с использованием средств индивидуальной защиты: суконная спец. одежда, резиновые перчатки, резиновые сапоги, защитные очки, фильтрующий противогаз с коробкой марки В, М. Перед ремонтом аппаратура и трубопроводы должны быть освобождены от агрессивной среды, осуществлена продувка воздушной смесью от остатков используемых реагентов соответствующего оборудования и промывка обильным количеством воды.

Розливы агрессивных жидкостей должны быть немедленно смыты обильным количеством воды, в случае разлива на участке ГТП нейтрализованы известью или кальцинированной содой (при разливе кислоты), засыпаны песком, собраны в контейнер и отправлены на площадку временного хранения отходов. После чего на месте аварии должна быть проведена уборка рабочей зоны.

Основные свойства химических реагентов по пожароопасности и токсичности приведены в таблице 14.

К работе с кислотами, щелочами и другими едкими веществами допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж по охране труда.

Работник должен соблюдать:

1. правила внутреннего распорядка;
2. должностную инструкцию;
3. инструкцию по охране труда и пожарной безопасности;
4. правила личной гигиены.

Работник должен быть обеспечен спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты и правильно их использовать. При работе с едкими веществами помимо рабочего костюма должны применяться резиновые перчатки, резиновая обувь, прорезиненный фартук, респиратор с противокислотным патроном, защитные очки. Срок службы вышеуказанных средств индивидуальной защиты (СИЗ) устанавливается до их износа. Запрещается работать с едкими веществами в поврежденной спецодежде или при ее отсутствии.

Работник обязан уметь оказать первую медицинскую помощь при несчастном случае.

#### Основные правила безопасной работы с серной кислотой

Серная кислота является очень едким веществом. Она поражает кожу, дыхательные пути, слизистые оболочки, вызывая химические ожоги. Пары серной кислоты вызывают кашель, затруднение дыхания, нередко – бронхит, ларингит, трахеит.

Серная кислота и ее водные растворы пожаро- и взрывобезопасны. Предельно допустимая концентрация аэрозоля серной кислоты в воздухе рабочей зоны  $1,0 \text{ мг/м}^3$ , в атмосферном воздухе  $0,3 \text{ мг/м}^3$  (максимальная разовая) и  $0,1 \text{ мг/м}^3$  (среднесуточная). Поражающая концентрация паров серной кислоты  $0,008 \text{ мг/дм}^3$  (экспозиция 60 мин), смертельная  $0,18 \text{ мг/л}$  (60 мин). Класс опасности II. Пары токсичны. ПДК паров в воздухе рабочей зоны -  $1 \text{ мг/дм}^3$ . При попадании на кожу вызывает сильные ожоги. При попадании в глаза может вызвать потерю зрения. Вдыхание концентрированных паров может привести к потере сознания и тяжёлому поражению лёгочной ткани.

При попадании серной кислоты на кожный покров, необходимо немедленно промыть поражённый участок обильным количеством проточной воды, обработать 5 % раствором пищевой соды, доставить пострадавшего в медицинский пункт.

При попадании серной кислоты в глаза, необходимо немедленно промыть глаза обильным количеством проточной воды, промыть глаза 0,5 % раствором пищевой соды, доставить пострадавшего в медицинский пункт.

#### Основные правила безопасной работы с аммиачной селитрой

Селитра относится к малоопасным веществам. ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений –  $10 \text{ мг/м}^3$ . По степени воздействия на организм по ГОСТ 12.1.007 селитра относится к 4 классу опасности. Селитра является окислителем и пожароопасна. При температуре  $210 \text{ }^\circ\text{C}$  и взаимодействии с серой, серным колчеданом, кислотами, суперфосфатом, хлорной известью, порошковыми металлами (особенно с цинком) разлагается с выделением токсичных окислов азота и кислорода.

Выделяющийся кислород может вызвать возгорание горючих материалов (мешков) и, как следствие, пожар. В случае загрязнения селитры органическими материалами или при сильном пожаре разложение аммиачной селитры может перейти во взрыв.

Пожар, вызванный разложением селитры, следует тушить большим количеством воды. Ресурсы воды должны обеспечивать подачу не менее 100 дм<sup>3</sup>/мин воды на 100 м<sup>2</sup> площади склада.

Аммиачная селитра должна храниться в не отапливаемом помещении, отделенном от остальной части здания противопожарной стеной и расположенном в торцевой части, с устройством вентиляции, обеспечивающей не менее четырехкратного обмена воздуха в час. В полах не должно быть подвалов, каналов, приямков, туннелей, пазов или других углублений, в которых при пожаре может скапливаться расплавленная селитра.

Емкость помещения склада не должна превышать 240 т. Масса селитры (в мешках) в отдельных штабелях не должна превышать 140 т, расстояние между штабелями не менее 2 м.

Рассыпанную селитру, поврежденные мешки, обрывки бумаги и другой мусор следует немедленно убирать. Наряду с регулярной текущей уборкой помещения необходимо не реже одного раза в год весь склад (или поочередно каждый участок склада) полностью опорожнять от селитры с последующей тщательной очисткой пола от налипшей селитры.

### **Основные правила складирования, хранения и перевозки химических реагентов и готовой продукции**

Аммиачная селитра от поставщика до перевалочной базы предприятия транспортируется в п/этиленовых мешках массой 50 кг., а также в специальных мягких контейнерах по 500 - 800 кг. в крытых железнодорожных вагонах.

Аммиачная селитра хранится в п/этиленовых мешках в складском помещении, оборудованном естественной вытяжной вентиляцией.

Аммиачная селитра должна храниться в не отапливаемом помещении, отделенном от остальной части здания противопожарной стеной и расположенном в торцевой части, с устройством вентиляции, обеспечивающей не менее четырехкратного обмена воздуха в час. В полах не должно быть подвалов, каналов, приямков, туннелей, пазов или других углублений, в которых при пожаре может скапливаться расплавленная селитра.

Склады селитры должны быть оборудованы вентиляцией и дымовыми вытяжными шахтами в соответствии с требованиями строительных норм и правил. Отопление складских помещений для хранения селитры должно быть воздушным, применение калориферов не допускается.

Емкость помещения склада не должна превышать 240 т. Масса селитры (в мешках) в отдельных штабелях не должна превышать 140 т, расстояние между штабелями не менее 2 м.

Готовая продукция

Готовая продукция – урансодержащий товарный десорбат. Пожаро-, взрывобезопасен. При попадании на кожу вызывает ожоги. Токсичен вследствие наличия ионизирующего излучения.

Товарный десорбат до переработки его в аффинажном цехе хранится в специальном буферном емкостном оборудовании, объемом 50 м<sup>3</sup>, и при необходимости поступает на дальнейшую переработку.

Отгрузка товарного десорбата в автомашины и его транспортировка на дальнейшую переработку или в аффинажный цех осуществляется согласно рабочей инструкции по отгрузке товарного десорбата РИ-02-13.

#### **Радиационная безопасность**

При проведении работ по добыче и переработке урана в обязательном порядке проявляются факторы, оказывающие вредное воздействие на персонал, население и окружающую среду. К ним относятся повышенные содержания в воздухе, почве, воде и на поверхности оборудования:

- радиоактивных веществ - природного урана и его продуктов распада;
- вредных химических веществ (ВХВ) – серной кислоты, газообразных продуктов и др.

Источниками радиационной и токсической опасности являются выщелачивающие, продуктивные, технологические растворы, урансодержащие десорбаты (элюаты), используемые в производственном процессе, которые содержат радиоактивные и токсичные вещества, а также урановые продукты – ХКПУ, ЗОУ.

Радиоактивные вещества значительную опасность могут представлять лишь в случае накопления.

Прочие источники гамма-излучения:

- пески и илы в технологических пескоотстойниках ПР и ВР;
- отложения радиоактивных веществ в трубах и в связанном с ними оборудовании;
- радиоактивное излучение от геофизического оборудования.

Подземные воды, откачиваемые на поверхность, содержат радон-220, находящийся в атмосфере воздуха, продукты распада которого могут попадать в лёгкие и представлять собой определенную опасность для людей.

Основными источниками радона на руднике ПВ являются:

- подземные грунтовые воды, поднимаемые на поверхность в процессе прокачки или чистки технологических скважин;
- продуктивные и выщелачивающие растворы в пескоотстойниках.

Эти источники излучения могут не учитываться, ввиду незначительного количества частиц радона по отношению к объёму воздушного потока.

Классификация производственных зданий и помещений цехов и участков, в которых ведутся работы с использованием источников ионизирующих излучений по классу работ, приведена в таблице 11.

Таблица 11 - Классификация производственных зданий и помещений цехов и участков

Наименование цехов и участков	Наименование производственных зданий и помещений	Класс работ с использованием открытых ИИИ
1. Цех по переработке продуктивных растворов (ЦППР)	Технологический корпус. Склад готовой продукции	3
2. Физико-химическая экспресс-лаборатория (ФХЛ)	Технологический корпус	3
3. Участок временного хранения твердых радиоактивных отходов («могильник»)	Площадка временного хранения твердых радиоактивных отходов	3

Радиационная безопасность персонала и окружающей природной среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности и требования радиационной защиты, установленные Федеральными законами РК, действующими нормами радиационной безопасности и санитарными правилами.

Технологический процесс подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) должен в максимальной степени обеспечивать предотвращение радиоактивного и химического загрязнения производственных объектов и окружающей среды (недра, поверхность, воздух и т. п.). Эти объекты находятся под постоянным контролем соответствующих органов.

Проектом предусмотрены технологические решения и мероприятия по минимизации вредного воздействия промплощадки участка №4 месторождения «Буденовское» на атмосферу, подземные воды, почву и персонал.

Порядок обращения с радиоактивными веществами определяется программой обеспечения качества радиационной безопасности промплощадки месторождения «Буденовское», разработанной и согласованной с надзорными органами в соответствии с «Требованиями к программам обеспечения качества радиационной безопасности видов деятельности, связанных с использованием атомной энергии» (РД-МР-025-11. МР по разработке ПОК по РБЯРЭУ).

Обращение с радиоактивными веществами в процессе отработки участка месторождения производится согласно инструкции по радиационной безопасности, программе обеспечения качества радиационной безопасности.

Организация и мероприятия радиационной защиты персонала обеспечивают ограничение облучения работающих от всех внешних и внутренних источников лучевого воздействия в суммарной дозе, не превышающей основные дозовые пределы, установленные государственными санитарно-эпидемиологическими правилами.

Технологический процесс подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) должен в максимальной степени обеспечивать предотвращение радиоактивного и химического загрязнения производственных объектов и окружающей среды (недра, поверхность, воздух и т. п.). Эти объекты находятся под постоянным контролем соответствующих органов.

Целью контроля является:

- обеспечение безопасных условий труда персонала предприятия (ПСВ) в период проведения работ;
- обеспечение безопасных условий проживания населения окружающей местности в период проведения работ и после их окончания;
- обеспечение такого состояния объектов окружающей среды, которое позволило бы после окончания работ вернуть занимаемую территорию в обычное хозяйственное пользование.

Радиационная и токсическая безопасность технологических процессов обеспечивается:

- устранением непосредственного контакта персонала с технологическими растворами, урансодержащей смолой;
- автоматизацией, применением дистанционного управления технологическими процессами и операциями при наличии опасных и вредных производственных факторов;
- герметизацией оборудования;
- своевременным удалением и обезвреживанием отходов производства;
- профессиональной подготовкой работников;
- строгим соблюдением правил личной гигиены персонала.

В целях обеспечения безопасности предусмотрены:

- планомерное и своевременное выявление наличия и интенсивности проявления вредных производственных факторов;
- система приточно-вытяжной общеобменной вентиляции;
- система местных отсосов производственных выбросов;
- гидроуборка помещений;
- установка аварийных душей в опасных местах здания ЦППР;
- использование средств индивидуальной защиты;
- система подогрева и местного кондиционирования воздуха;
- использование санпропускника;
- дезактивация спецавтотранспорта и т. д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В данной работе проведен анализ бактериального окисления железа в растворах уранового рудника. Процесс бактериального выщелачивания проходит при достаточно низких температурах в пределах 10-35 С, при этом практически все двухвалентное железо переходит в трехвалентную форму.

2. В выщелачивающем растворе присутствует достаточно активная «дикая» культура железooksисляющих бактерий, которая начинает развиваться при внесении в рабочий раствор среды 9К в соотношении 1:1.

3. Для исследования использовались тионовые бактерии: *A.Ferrooxidans*, способные окислять сульфидные минералы и закисное железо до окисного (так называемые железобактерии), и *A.Thiooxidans* (так называемые серобактерии). Потенциальная активность железooksисляющих бактерий определяется наличием и количеством ионов двухвалентного железа в среде. Для проведения производственных испытаний наработана биомасса штаммов железooksисляющих бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* в объеме 5 г/л.

4. Проведены лабораторные исследования по селекции бактерий с последующим размножением их на среде 9К и выделены чистые штаммы, что является основным этапом на пути исследования влияния бактерий на процесс выщелачивания. Количественный учет микроорганизмов проводили методом серийных разведений, методом прямого подсчета в камере Горяева и методом прямого подсчета с помощью микроскопа с фазово-контрастным устройством. Идентификацию штаммов проводили на основе физиолого-биохимических методов.

5. Повышение содержание урана в продуктивных растворах одна из ключевых задач при ПСВ урана. При этом снижаются издержки добычи урана и себестоимость, сокращаются сроки эксплуатации скважин на блоках. Использование биотехнологических методов для окисления двухвалентного железа до трехвалентного повышает окислительно-восстановительный потенциал раствора и позволяет перевести уран в рудоносном слое из слаборастворимой четырехвалентной формы в шестивалентную растворимую форму.

6. Проведен системный анализ и расчет технологической схемы месторождения «Буденовское», включая оборотный цикл растворов при ПСВ урана с целью повышения эффективности процесса.

7. Проведен анализ техники безопасности на руднике, включая радиационную безопасность, а также системы охраны окружающей среды при ПСВ урана.

8. Работа проведена на выщелачивающих растворах месторождения «Буденовское» с содержанием двухвалентного железа до 1,5 г/л (трехвалентное железо – 0,1-0,3 г/л), что подтверждает высокий потенциал использования бактериального окисления железа для данного месторождения с целью повышения содержания урана в продуктивном растворе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турысбекова Г.С., Бектай Е.К., Меретуков М.А., Бектаев М.Е. Природные наночастицы и наноструктуры. Алматы, НАО КазННТУ, 2019 г. – С.400.
2. Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К., Золото: Инновации в химии и металлургии. Алматы, НАО КазННТУ, 2015 г. – С.632.
3. Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К., Золото: Новые сырьевые источники, вторичная металлургия и аффинаж. Алматы, НАО КазННТУ, 2016 г. – С.352.
4. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. - Ленинград.: Недра.1990.
5. Анализ современного состояний и тенденций развития горно-металлургического комплекса Республики Казахстан: отчет о НИР /АО «ЦНЗМО». - Алматы, 2008. - 511 с.
6. Польшин С.И. Обогащение руд и россыпей редких металлов. - М.: Недра. 1987.
7. Гудима Н.В. Технологические расчеты в металлургии тяжелых цветных металлов. - М.: Металлургия, 1977.
8. Валиев Х.Х., Романтеев Ю.П. Металлургия свинца, цинка и сопутствующих металлов. - Алматы, 2001.
9. Романтеев Ю.П. Металлургия свинца. - Алматы, 1999.
10. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. Металлургия алюминия. - Новосибирск: Наука, 1999. - 435с.
11. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Том 3. «Технология переработки и обогащения руд цветных металлов». Москва, МГТУ, 2006.
12. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. Москва, МГТУ, 2008.
13. Студенцов В.В. Клец А. Вопросы теории и практики обогащения руд. / Кн. Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан // Анализ, запасы, технологии. – Алматы: Информационно-аналитический центр геологии, экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1997.
14. Митрофанов С.И. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. - М.: Госгортехиздат, 1962.
15. Леонов С.Б., Белькова О.Н. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. - М.: Интермет инжиiring, 2001.
16. Райвич И. Д. Отсадка крупнокусковых руд. – М.: Недра, 1988.
17. Королев Н.А., Венгер М.К., Королев И.А., Возная А.А. Использование технологической минералогии при разработке схем обогащения // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2018 – С. – 27-31.

18. Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Бостандыков А.М., Барменшинова М.Б. Разработка технологии обогащения окисленных свинцово-баритовых руд с использованием гравитационных процессов обогащения. Труды Сатпаевских чтений «Инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии», Алматы, 2019
19. Кирхберг Г. Обогащение полезных ископаемых. Москва, 1960.
20. Р. Берт, К.Миллз «Технология гравитационного обогащения», М. 1990.
21. Т.В. Глембоцкая «Возникновение и развитие гравитационных методов обогащения», М., 1991.
22. В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин «Гравитационные методы обогащения» 1997.
23. Б.Ф. Куликов «Минералогический справочник технолога-обогатителя», М. 1985.
24. Н.А. Самылин «Отсадка», М. 1976.
25. Авдохин В.М Основы обогащения полезных ископаемых, Обогатительные процессы, Том 1, 2006.