

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Управление безопасностью компрессорной станции ПХГ
с применением методов прогнозирования**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки _____ 4 _____ курса _____ 441 группы _____
направления _____ 20.03.01 «Техносферная безопасность» _____
код и наименование направления, специальности
_____ **Института химии** _____

Зуевой Варвары Александровны

Научный руководитель

доцент, к.х.н.
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

В.З. Угланова
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность является одной из важнейших отраслей экономики России, так как её экономическая обеспеченность в ближайший период будет, как и ранее зависеть от количества и стоимости добываемых из ее недр полезных ископаемых. По запасам природных алмазов Россия является лидером среди мировых производителей – запасы составляют около 50 % мирового объема запасов. В Республике Саха (Якутия) все месторождения расположены в районах с крайне суровым климатом. Горно-геологические условия их отработки – самые сложные в мире. Разработки ведутся подземным способом и являются самым сложным в отработке кимберлитовых трубок. На действующих предприятиях с увеличением глубины отработки, как правило, усложняются геотехнические параметры, возрастают эксплуатационные затраты и, в итоге, снижается рентабельность производства. Для повышения эффективности разработки месторождений в таких усложненных условиях требуется поиск новых экономических подходов, нестандартных технических, организационных и управленческих решений. Применяются сложные технологические установки и рентгенолюминесцентные аппараты с цифровой обработкой сигнала. В окончательной доводке применяется электрометрия. Каждый вид деятельности является опасным и поэтому необходимо найти решение, как сделать данный процесс экономически выгодным и безопасным для людей.

Мероприятия по повышению уровня безопасности кимберлитовых рудников, связанных с влиянием рассолов, и минимизации негативного воздействия в случае аварии постоянно *важны и актуальны*. Защита от опасностей как природного, так и техногенного характера необходима для процветания данной отрасли и сохранения жизни, здоровья людей, экологии. Знание всех возможных рисков и опасностей алмазодобывающей промышленности позволит обеспечить безопасное ведение производственного процесса.

В связи с этим, **целью бакалаврской работы** является оценка уровня

профессиональных рисков на объекте исследования – подземный рудник – путем изучения влияния различных производственных факторов, главным образом гидрогеологических условий, на надежность насосного оборудования водоотливных хозяйств кимберлитовых рудников и разработка мероприятий по управлению профессиональными рисками.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить реальные опасности на исследуемом объекте (природные и техногенные);
- разработать модели оценки вероятности возникновения аварий на исследуемом объекте и их последствий;
- оценить параметры опасности (физико-химический анализ состава шахтных вод) и их возможное негативное влияние;
- разработать и предложить современную корректировку мер по снижению риска аварий.

1 Литературный обзор. Геохимические особенности и опасности алмазоносных районов Республики Якутии (Саха)

1.1 Распространение подземных вод и гидрогеологическая стратификация разреза

Характерной особенностью региона Западная Якутия является тесная связь подземных вод с мерзлотными условиями. Это связано с широким распространением мерзлых пород большой толщи, что оказывает разнообразное и значительное влияние на гидрогеологические условия в этом районе [1]. Образование криогенной толщи привело к существенным изменениям в гидрогеологической обстановке. Водоносные и водопроницаемые горные породы стали мерзлыми и водонепроницаемыми, образовались криогенные водоупоры. Эти изменения повлияли на характер залегания и гидродинамический режим подземных вод: безнапорные воды стали напорными, а напорные воды получили дополнительное криогенное

давление. Ёмкость гидрогеологических структур уменьшилась, температура подземных вод снизилась, что привело к формированию более глубокой зоны охлаждения земной коры, известной как криолитозона [1, 2].

1.2 Геохимия Оленёкского криоартезианского бассейна

В геологическом разрезе Оленёкского КАБ (центральной и юго-западной частей) обнаружены погребённые рифогенные структуры, состоящие из эпифитоновых известняков и кавернозных доломитов [3-7]. В нижнем палеозое преобладают осадочные толщи, включающие известняки, доломитизированные известняки, глинистые известняки, доломиты и мергели. По отношению к многолетнемерзлым породам в бассейне развиты над-, меж- и подмерзлотные воды.

Подземные воды верхнекембрийского комплекса относятся к гидрохимической зоне солёных вод, содержащих как слабые, так и крепкие растворы, и характеризуются преимущественно хлоридно-магниево-кальциевым и кальциево-магниевым химическим составом. Минерализация подземных вод изменяется в широких пределах – от 31 до 252 при среднем значении 92 г/дм³ [8-10]. Водоносный комплекс среднекембрийского возраста имеет неравномерное распространение.

1.3 Анализ статистики аварийных ситуаций на рудниках, связанных с добычей минеральных ископаемых, угля и алмазов

На данный момент одной из главных задач обеспечения национальной безопасности Российской Федерации является защита территорий и населения своих регионов. В условиях быстрого развития общества, технологического прогресса и ухудшения экологической ситуации проблема угроз техногенного и природного характера становится все более актуальной. Это требует проведения систематического анализа состава и последствий чрезвычайных ситуаций [11].

Республика Саха (Якутия) является самым крупным по территории регионом Дальневосточного федерального округа и самым большим субъектом Российской Федерации. Она также является одним из регионов с

повышенным уровнем природных, техногенных и биолого-социальных рисков чрезвычайных ситуаций. Среди потенциальных угроз можно выделить природные (наводнения, паводки, лесные пожары, землетрясения), техногенные (аварии на объектах жилищно-коммунального хозяйства, электроснабжения, авиации) и биолого-социальные (заболевания, вызванные инфекциями и паразитарными болезнями) [11]. Факторы, влияющие на обводненность месторождений, включают рельеф местности, тектоническую активность, гидрогеологический состав пород, климатические условия и проникновение воды из различных источников.

Раздел 2 Практическая (экспериментальная) часть

2.1 Объект исследования. Общая информация

В качестве объекта исследования выбран подземный рудник по добыче алмазов. Основными компонентами подземного рудника являются:

- вертикальные шахтные стволы, включающие все коммуникации и систему подъема руды;
- горизонтальные и наклонные горные выработки, которые обеспечивают вентиляцию рудника;
- горнопроходческие забои выработок, где проводятся буровзрывные работы;
- транспортировка людей, горной массы, опасных;
- запасные выработки, которые используются для спасения и эвакуации людей на поверхность в случае аварии;
- подземные горные машины (технические устройства) и другое оборудование.

2.2 Опасности объекта

В результате работы подземного рудника нарушается почвенно-растительный покров, образуются наземные насыпи (промплощадки, отвалы, автодороги), земляные выемки (карьеры, нагорные канавы, отводящие русло кюветы), обводненные территории (отстойники, пруды-накопители) и инженерные коммуникации [11]. Значительное воздействие на территорию

оказывает размещение пустых пород от выработки основных площадок и отвалов вскрышных пород, а также полигон захоронения карьерных вод.

2.2.1 Состав химических и газовых компонентов подземных вод (рассолов)

Анализ литературы показал [3], что одной из основных природных опасностей является наличие больших количества грунтовых вод, содержащих различное количество солей – рассолы. В шахтах Якутии образуются рассолы, содержащие хлориды натрия, калия, магния и кальция, и других микроэлементов, часто используемые в качестве промышленного сырья.

Для достижения поставленных *целей и задач* был проведен физико-химический анализ проб рассолов, взятых на территории исследуемого объекта (рисунок 1).



а

б

в

Рисунок 1 – Пробы рассолов, отобранные в карьере с различных горизонтов.

а – 365 м; *б* – 380 м; *в* – 415 м

Визуальный анализ проб показал, что с увеличением глубины отбора проб меняются органолептические показатели (мутность, прозрачность, запах), воспринимаемые органами чувств (зрением, обонянием) [12-13].

2.2.2 Характеристика химического состава рассолов методом РФА

Далее, проведено качественное и количественное определение состава всех образцов. Исследования проводили методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии на приборе Innov-X SYSTEMS INC (США).

Методика проведения исследования образцов.

Перед началом измерения проводится стандартизация прибора по специальному сплаву с помощью монетки № 316. Прохождение процедуры стандартизации означает, что прибор правильно определяет качественно и количественно заданные химические элементы.

В пластмассовую кювету с крышкой объемом 7 см³ помещают аликвоту исследуемого рассола (~5 мл). Затем на кювете, со стороны прохождения рентгеновского излучения, наносили майларовую пленку и помещали кювету в прибор, закрывали крышку прибора, покрытую изнутри свинцом для экранирования рентгеновского излучения, и проводили измерения.

Параметры измерений: измерение проводили по 3-м лучам, время измерения каждого луча – 40 сек., время всего анализа – 120 сек. На экран встроенного компьютера выводятся в режиме «онлайн» результаты: найденные элементы, количество в ppm (миллионная доля), спектр РФА.

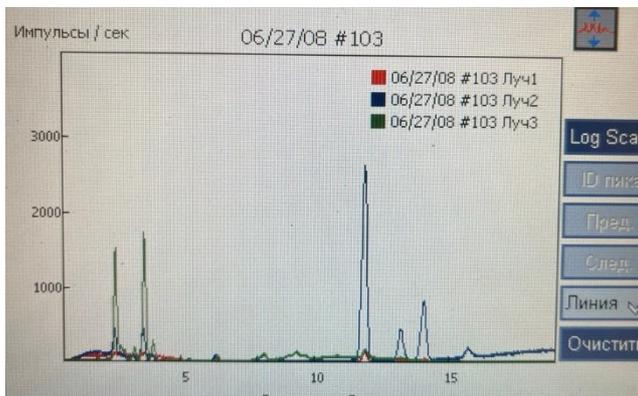
Результаты исследования рассолов представлены в таблице 1, рисунках 2-3.

Таблица 1 – Элементный состав исследуемых рассолов

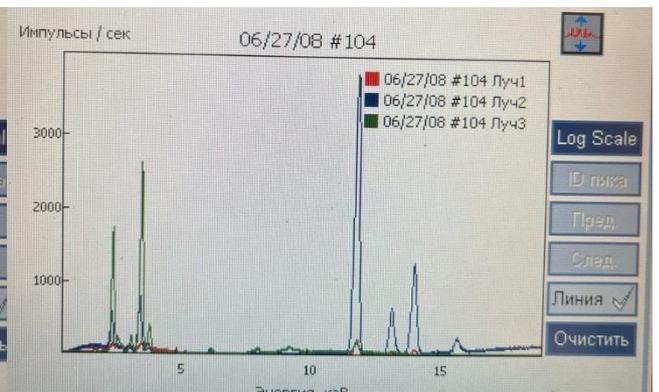
Элементный состав	Рассолы		
	365	380	415
	Содержание, г/дм ³		
Cl	40,900	61,600	39,500
Ca	15,400	31,600	22,400
K	2,927	4,866	3,954
Au	3,147	5,723	4,037
S	0,972	1,213	0,668
Pt	0,853	1,609	1,139
Sr	0,515	0,969	0,730
Fe	0,419	0,523	0,400
Rb	0,223	0,476	0,339
Bi	0,183	0,304	0,207
Hg	0,153	0,289	0,197
Cu	0,074	0,148	0,98
Zn	0,031	0,057	0,043

Pb	0,026	0,038	0,028
Ni	0,034	0,053	0,004
Cr	0,006	0,004	0,004
Mn	0,005	-	-
Rh	0,079	-	-
Zr	0,012	0,020	-

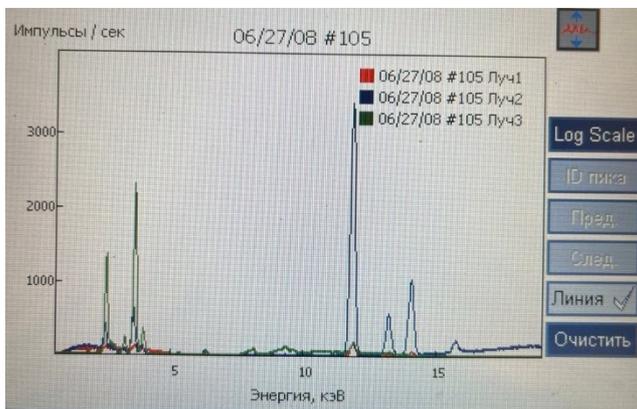
Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что качественные составы рассолов практически одинаковы. Исключением является отсутствие Mn и Rh в рассолах (380) и (415), Zr в рассоле (415). Максимальные концентрации зафиксированы для соединений Cl, Ca, K, Au, S.



а



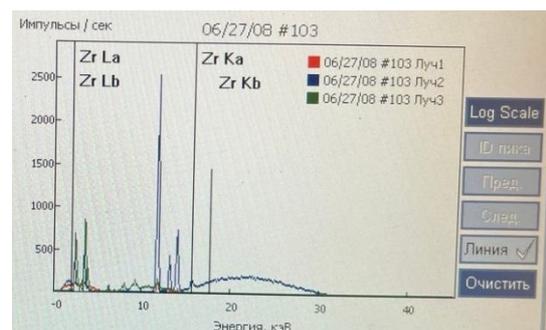
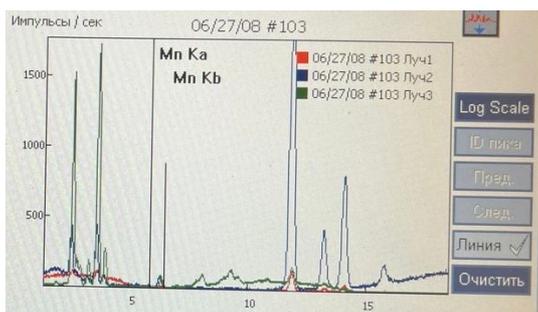
б



в

Рисунок 2 – Спектр рентгенофлуорисцентного анализа образцов.

а – рассол (365), *б* – рассол (380), *в* – рассол (415)



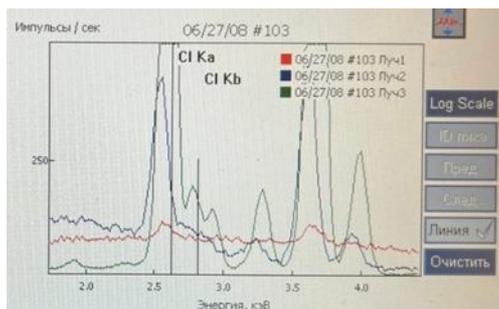
a*б*

Рисунок 3 – Спектр
рентгенофлуорисцентного анализа
образцов на содержание Mn (*a*), Zr (*б*),
Cl (*в*) в рассоле (365)

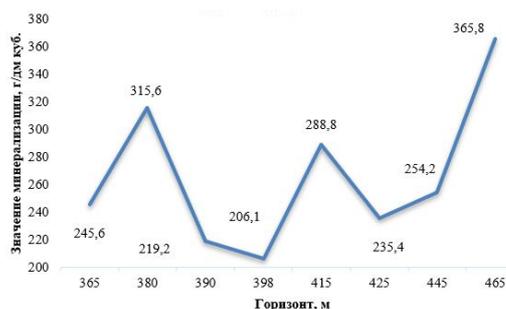
в

Рентгено-флуоресцентный анализ является мощным инструментом в области материаловедения, анализа состава материалов и археологических находок. Прибор БРА-135F, разработанный в России, представляет собой современное оборудование, специально предназначенное для проведения таких исследований.

На приборе БРА-135F (рентгено-флуоресцентный анализ) проведен анализ химического состава рассолов (рисунок 4). Приводятся полученные в ходе исследования данные, их анализ (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели минерализации, зависящие от глубины залегания

Горизонт	Показатель минерализации, г/дм ³
365	245,6
380	315,6
390	219,2
398	206,1
415	288,8
425	235,4
445	254,2
465	365,8



2.3 Риски, связанные с рассолами, для здоровья человека, оборудования

Рассолы представляют опасность для здоровья человека из-за своего высокого содержания солей и других химических веществ.

Основные риски для здоровья, связанные с рассолами: Обезвоживание, гипернатриемия, повреждение почек, повреждение кожи и слизистых оболочек, токсичность. Разнообразие элементов, полученных в результате РФА, дает понимание о возможных негативных последствиях, которые могут оказать рассолы на человека и оборудование. Безопасные дозировки веществ, не оказывающие влияние на здоровье человека [12-13].

Так как шахтный водоотлив является неотъемлемым технологическим процессом при добыче алмазосодержащего сырья, контроль показателей долговечности насосного оборудования – это часть анализа риска возникновения аварии [11,14]. Воздействие химических элементов сульфатов, хлоридов, магния, кальция, минерализации влечет за собой: агрессивное воздействие на металлические поверхности; увеличивается образование коррозии; соли жесткости выпадают в осадок или кристаллизуются, образуя на стенках прибора накипь, которая приводит к разрушению конструкции; солевые отложения в трубах препятствуют хорошей проходимости трубных каналов; падает проходимость жидкости; на поверхности нагревательных элементов образуется накипь. Представленные негативные факторы сокращают периоды между ремонтами, в следствии аварийных ситуаций, что влечет большее количество экономических затрат предприятия [8-10].

2.4 Насосы: необходимость и опасность насосного оборудования

На основании анализа вышеприведенной работы, показавшей разнообразие химических элементов, различие их по составу, концентрации, дает представление, что снижение долговечности деталей проточной части секционных насосов подземных рудников вызвано сложным

многофакторным разрушением. Они представляют собой комплексное воздействие на металл гидроабразивного, коррозионного, кавитационного и адгезионного видов изнашивания. Степень влияния каждого из представленных деградиционных процессов зависит от гидрогеологических и горнотехнических условий конкретного разрабатываемого месторождения твердых полезных ископаемых [14].

Раздел 3 Управление профессиональными рисками

3.1 Мероприятия, направленные на повышение уровня безопасности

Для ведения безопасного производственного процесса необходимо изучить, предложить дополнительные мероприятия и направлений исследования по изучению рассолов и защите рудников от затопления ими.

3.2 Современных технологий обработки результатов

Управление профессиональными рисками существует как цельный, непрерывный, системный процесс, протекающий на всех уровнях, и предполагает – выявление, мониторинг, анализ, учет и минимизацию. Возможность внедрения современных стандартов управления и технологий, а также обучение и аттестация сотрудников является важным принципом совершенствования системы управления промышленной безопасностью и охраны труда.

В связи с этим мы предлагаем применение современного метода дополнительной обработки и представления результатов анализа шахтных вод рудника на языке программирования Python. Метод характеризуется наглядностью, возможностью упрощения процесса восприятия результатов, точностью, эффективностью, высокой скоростью обработки большого массива данных, полученных при анализе подземных вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных теоретических и расчетно-практических исследований сделаны следующие выводы:

1. Определены реальные опасности на руднике и причины их реализации. С помощью логико-вероятностных методов исследования представлены возможные сценарии аварий и их последствия.

2. С помощью аналитических методов проведен химический анализ шахтных вод (рассолов) рудника. Установлено, что в зависимости от глубины и участка горизонта менялись значения качественных и количественных параметров. Так, с увеличением глубины: мутность - уменьшалась, цвет менялся от ярко желто-коричневого до «бледно-желтого»; размер взвешенных частиц рассолов уменьшался, запах – постоянно «слабый» (2 балла); pH растворов изменялся в диапазоне 3,5-6.

3. Анализ состава рассолов физико-химическим методом: РФА: Innov-X SYSTEMS INC (США), БРА-135F (Россия) показал, что качественно составы рассолов практически неизменны. Исключением является отсутствие Mn и Rh в рассолах (380) и (415), Zr в рассоле (415). Максимальные концентрации определены для соединений Cl, Ca, K, Au, S; возможно, они определяют значение минерализации рассолов.

4. По результатам экспериментальных исследований и теоретических данных оценены риски: характерные профессиональные заболевания работников рудника и влияние рассолов на работу водоотливных комплексов (насосных установок).

5. Предложены организационно-технические мероприятия для повышения уровня безопасности объекта, включающие применение современного метода дополнительной обработки и представления результатов количественного анализа шахтных вод рудника – язык программирования Python. Метод характеризуется наглядностью, возможностью упрощения процесса восприятия результатов, точностью, эффективностью, высокой скоростью обработки большого массива данных, полученных при анализе подземных вод.

6. Проведенные исследования являются частью трудовых функций Специалиста в области промышленной безопасности (Профессиональный

стандарт 40.209). Результаты исследования могут быть использованы при разработке документов в области промышленной безопасности.

СПИСОК ИСПЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев, С. В. Криогенез подземных вод и горных пород (на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии) / С. В. Алексеев. Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, Москва, 2000. – 111 с.
2. Алексеев, С. В. Гидрогеохимия криолитозоны центральной части Якутской алмазоносной провинции / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева // Криосфера Земли. – 2000. – Т. 4. – С. 89-96.
3. Алексеева, Л. П. Геохимия подземных льдов, солёных вод и рассолов Западной Якутии: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: спец. 25.00.07 / Л. П. Алексеева; науч. рук. С. Л. Шварцев. – Томск, 2015. – 223 с.
4. Алексеев, С. В. Криогидрогеологические системы. Принципы типизации и картографического отображения: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: спец. 25.00.08 / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 144-147.
5. Великин, С. А. Снегирев А.М., Фролов А.Д. Локальный эколого-геофизический мониторинг криолитозоны / С. А. Великин, А. М. Снегирев, А. Д. Фролов - Москва: Изд-во ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. – Вып. 3. – С. 25-38.
6. Борисов, В.Н. Факторы взаимодействия рассолов со льдом (мерзлой породой) при отрицательной температуре / В. Н. Борисов, С. В. Алексеев. – Томск, ТПУ, 2000. – С. 584-589.
7. Алексеев, С. В. Литиеносные подземные воды Иркутской области и Западной Якутии / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, А. Г. Вахромеев, Г. П. Шмаров // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 8-13.
8. Лаптев, Б. В. Историография аварий при разработке соляных месторождений / Б. В. Лаптев // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 12. – С. 41-46.

9. Спиридонов, В. П. Автоматизированная информационно управляющая система мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах повышенной опасности Российской Федерации / В. П. Спиридонов, Н. И. Черняк, В. В. Спиридонова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2014. – №1 – С. 60-65.
10. Алексеев, С. В. Изотопный состав (H, O, Cl, Sr) подземных рассолов Сибирской платформы / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, В. Н. Борисов // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 3. – С. 291-304.
11. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 06.10.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
12. ГОСТ Р 59024-2020. Национальный стандарт РФ «Вода Общие требования к отбору проб» // [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200175475> (дата обращения: 19.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
13. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» // [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102095211> (дата обращения: 19.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
14. Оценка влияния твердой фазы шахтных вод на эффективность секционных насосов при разработке месторождений кимберлитовых руд // В. Н. Нгуен // Горные науки и технологии. – 2022 – № 2 – С. 100 // [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: [Assessment of mine water solid phase impact on section pumps performance in the development of kimberlite ores | Ovchinnikov | Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology \(Russia\) \(misis.ru\)](#) (дата обращения: 02.04.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус.