



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему Сравнительная характеристика влияния различных хвостохранилищ на экологическую безопасность окружающей среды

Исполнитель \_\_\_\_\_ Герасименко Екатерина Ивановна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_ кандидат биологических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

\_\_\_\_\_ кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» «\_\_\_\_\_» 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Хвостохранилища и их влияние на окружающую среду .....	6
1.1. Существующий опыт накопления отходов обогащения в России .....	7
1.2. Опыт накопления отходов обогащения за рубежом .....	9
1.3. Влияние хвостохранилищ на окружающую среду.....	13
1.3.1. Влияние на водные объекты .....	14
1.3.2. Влияние на атмосферу.....	14
1.3.3. Влияние на почву .....	16
1.3.4. Влияние на биоту .....	17
1.3.5. Влияние на людей .....	19
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	21
2.1. «Гайский ГОК».....	23
2.1.1. Особенности биоклиматических и орографических условий .....	25
2.1.1.2. Методы модернизации оборудования для уменьшения отходов на Гайском горнообогатительном комбинате .....	29
2.1.2. «Учалинский ГОК» .....	31
2.1.2.1. Физико-географическая характеристика территории .....	33
2.1.2.2. Характеристика хвостохранилища «Учалинский ГОК».....	35
Глава 3. Сравнительная оценка воздействия исследуемых хвостохранилищ на окружающую среду.....	37
3.1. Сравнительная характеристика отвальных и подотвальных вод Учалинского и Гайского ГОКов .....	39
3.2. Сравнительная характеристика концентрации тяжелых металлов в почвах, прилегающих к Учалинскому и Гайскому ГОКам .....	41
3.3. Геоэкологический кризис на Учалинском ГОКе .....	42
Заключение .....	43
Практические рекомендации .....	45

Список литературы .....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	52

## Введение

Любое промышленное освоение недр предполагает образование большого количества отходов, которые даже при постоянном совершенствовании технологий по добыче и переработке полезных ископаемых ежегодно увеличиваются [12,6]. По данным Росстата, каждый год на территории нашей страны образуется около 8 млрд. тонн промышленных отходов, из которых, при среднем уровне вторичного использования, утилизируется максимум до 35% [19]. Поэтому проблема накопления веществ, образовавшихся на различных стадиях технологических процессов, и непригодных для использования в рамках действующей промышленной технологии является для России крайне острой.

Большая часть руд, которая добывается на территории Российской Федерации, в естественном состоянии не пригодна для непосредственного металлургического передела. Для увеличения концентрации полезных веществ в руде проводится несколько стадий обогащения, или так называемая сепарация на концентрат и хвосты (пустую породу). Хвосты обогащения складываются в так называемых хвостохранилищах – специально сконструированных гидротехнических сооружениях. На сегодняшний день накоплены миллиарды тонн хвостов обогащения, которые создают серьезные экологические проблемы для сложившегося геоэкологического равновесия в окружающей среде [7].

Так, среди серьезных экологических проблем Южного Урала и Башкирского Зауралья выделяется накопление большого количества отходов обогащения с формированием природно-горнопромышленных техногенных систем, а также последствия по нерациональной эксплуатации отходов от обогащения медно-колчеданных и медно-цинковых руд. Вследствие инфильтрации атмосферных осадков через грунты отвалов и окисления сульфидной серы образуются кислые дренажные воды, которые наносят ощутимый вред биоте [20]. Здесь же образуются эрозионно-опасныетак

называемые «сухие пляжи». На их долю может приходиться до 25-30% всей площади хвостохранилища. В случае установления на территории сухой, но ветреной погоды, возможен подъем и разнос на значительные расстояния пыли. Таким образом, загрязняется не только воздушный бассейн, но и прилегающие территории [18].

В сложившихся условиях насущной проблемой становится потребность в постоянном мониторинге хвостохранилищ и подбор новых решений по оптимизации природоохранной деятельности для снижения экологических последствий при эксплуатации хвостохранилищ.

Целью работы явилась сравнительная оценка влияния хвостохранилищ «Учалинского» и «Гайского» ГОКов на окружающую среду.

Задачи:

- 1) анализ существующего опыта проблемы накопления отходов обогащения в России и за рубежом;
- 2) определение факторов, влияющих на экологическое состояние окружающей среды вблизи хвостохранилищ;
- 3) сравнительная оценка экологического состояния окружающей среды вокруг изучаемых объектов;
- 4) разработка рекомендаций, направленных на обеспечение экологической безопасности хвостохранилищ «Гайского» и «Учалинского» ГОКов.

## Глава 1. Хвостохранилища и их влияние на окружающую среду

Хвосты от добычи полезных ископаемых в различных странах мира представлены крупными хвостохранилищами в виде шлама различного минерального состава, включающего различные металлы и реагенты, используемые в процессе обогащения. Кислотообразование и мобилизация металлов увеличиваются в хвостохранилищах из-за воздействия воздуха и воды на хвостохранилища. Это приводит к их стоку или просачиванию, известному как дренаж кислотных шахт или дренаж кислотных пород, и является одной из основных проблем горнодобывающей промышленности. Операторы шахт все чаще применяют альтернативные способы по удалению хвостов и сведения к минимуму их воздействия на внешнюю среду. В случае отсутствия должного внимания управлению хвостохранилищ, данные объекты оказывают разрушительное воздействие с последующими последствиями для окружающей среды, здоровья человека и экономики.

Хвосты могут содержать антропогенные химические вещества, используемые в металлургическом процессе (ксантогенаты, органические соединения, агрессивные химические реагенты и т. д.), а также наличие высоких концентраций встречающихся в природе тяжелых металлов (Cd, Cr, Mn, As, Pb, Zn, Mo и др.), которые необходимо учитывать для безопасного обращения с хвостохранилищами. Поэтому с геохимической и токсикологической точки зрения большинство хвостохранилищ должны утилизироваться с должной осторожностью в окружающей среде. В случае физического повреждения хвостохранилища или ЧС вред хвостохранилища многократно умножается. Разрушения хвостохранилищ происходят в основном из-за причин антропогенного происхождения (например, разрушение дамб из-за ненадлежащего управления) и естественных причин (например, наводнений, землетрясений), что свидетельствует о том, что для этих опасных отходов до сих пор отсутствует степень безопасности, позволяющая обеспечить доверие уязвимым сообществам и экосистемам.

Целью создания дамбы хвостохранилища является безопасное хранение хвостохранилищ для защиты природной среды от ущерба. Протекание хвостохранилища может оказать серьезное негативное влияние на экономику, окружающие объекты и жизнь людей. При этом, вероятность разрушения дамбы хвостохранилища в несколько раз выше, чем у других обычных водоподпорных дамб. Обеспечение безопасности и стабильности хвостохранилища является самой сложной задачей во всем процессе обращения с отходами. Выделяются следующие причины риска повреждения дамбы хвостохранилища: (1) насыпи сооружаются из грунта, крупных отходов и остаточных материалов горных работ, (2) количество сточных вод в хвостохранилище увеличивается по мере увеличения высоты дамбы и (3) стоимость мониторинга дамбы хвостохранилища высока во время эксплуатации и закрытия рудника. Эрозия материала стены дамбы приводит к образованию брешей, через которые могут вытекать полужидкие хвосты, что, в свою очередь, вызывает дальнейшую эрозию стенок.

Это означает, что деятельность по хранению хвостов сегодня представляет собой вопрос, требующий надлежащего управления окружающей средой и ответственного управления [23].

### 1.1. Существующий опыт накопления отходов обогащения в России

В России, по данным Росприроднадзора, ежегодно формируется более 5, а по данным Росстата – более 8 млрд. тонн твердых промышленных отходов. При этом суммарная площадь, которая отводится в России под отходы перерабатывающих предприятий, превышает 500 000 га, и, в целом, на начало 20х годов XXI века, накоплено приблизительно 110 млрд. подобных отходов. Несмотря на то, что данная категория отходов может использоваться в качестве вторичного ресурса в различных отраслях промышленности, статистика показывает, что из общего их количества утилизируется в настоящее время всего около 20 - 35 %, даже, несмотря на

то, что объемы некоторых рудных полезных ископаемых в них сопоставимы с запасами крупных месторождений.

Таблица 1. Примеры промышленного использования отходов хвостов обогащения некоторых организаций Российской Федерации

№	Хвостохранилища	Организации - исследователи, применяющие методы переработки и утилизации отходов недропользования	Соединения ценных компонентов (металлов) и продукция, получаемая при переработке и утилизации отходов недропользования	Проведение промышленных испытаний на действующих предприятиях по переработке и утилизации отходов недропользования
1	Хвосты Гайского ГОКа	НИТУ «МИСиС»	Золото, серебро, медь, цинк. Нерудные отходы строительной индустрии и для закладки горных выработок	Действующая установка по переработке отходов недропользования
		АО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ»»		
		АО «Механобринжиниринг»		
		ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»		
		Институт проблем комплексного освоения недр (ИПКОН РАН)		
2	Хвосты флотации медно-цинковых колчеданных руд ОАО «Учалинский ГОК», содержащие - золото, серебро	АО «Институт ГИНЦВЕТМЕТ»	Аu, Ag, Cu, Zn. Нерудные отходы в строительной индустрии и для закладки горных выработок	Промышленные

Для примера, статистика Уральского региона показывает, что ежегодно на данной территории образуется около 3млрд.т различных промотходов, в том числе хвосты обогащения медных и медно-цинковых руд (до 6,5 млн.т), а также складов медных шлаков (до 110 млн.т). В теле подобных хвостохранилищ содержится медь, цинк, сера, а также золото, серебро, висмут и кадмий. Кроме того, обнаруживаются основные и попутные, в том числе токсичные, химически активные соединения.

В таблице 1 приведены обобщающие данные по основным организациям – разработчикам технологий переработки и утилизации отходов недропользования, где сосредоточены накопленные или текущие отходы. Данные исследования показывают возможность расширения ассортимента выпускаемой продукции за счёт доизвлечения основных ценных и попутных компонентов, использования нерудных полезных ископаемых. Скорость извлечения перечисленных в таблице соединений будет существенно различаться в зависимости от ресурсной ценности, характера загрязнения ими окружающей среды и конкретных экономических условий. Во многих случаях это связано с высокой стоимостью вторичной переработки, что делает ее менее рентабельной или вовсе нерентабельной.

## 1.2. Опыт накопления отходов обогащения за рубежом

Управление хвостами в мировой практике является долгосрочной обязанностью горнодобывающих компаний и регулируется различными режимами. Управление хвостохранилищами должно быть эффективным на протяжении всего срока эксплуатации, от первоначальной возможности до закрытия и после закрытия.

Катастрофические разрушения дамб хвостохранилища в Маунт-Полли (Канада) в 2014 году, Самарко (Бразилия) в 2015 году и Брумадиньо (Бразилия) в 2019 году служат убедительным напоминанием о том, что еще многое предстоит сделать, если мы хотим добиться нулевого вреда.

Отходы обогащения являются потенциальным источником извлечения ценных компонентов, в частности цветных, драгоценных и редких металлов, что становится возможным с развитием технологии переработки и изменением экономических условий [26]. Перспективной сырьевой базой являются хвосты горно-обогатительных фабрик и металлургические шлаковые отвалы. В развитых странах эти ресурсы используются для вторичного извлечения цветных, редких и драгоценных металлов, что позволяет повысить существующую экономическую эффективность предприятий и улучшить экологию региона. Анализируя эволюцию потребления в различных регионах мира, обнаруживается, что в Северной Америке, Европе и Японии потребление рудных и нерудных полезных ископаемых за последние 40 лет соответствовало модели роста населения, тогда как в других регионах потребление было тесно связано с валовым потреблением внутреннего продукта (ВВП). В настоящее время во многих странах использование вторичных минеральных ресурсов, прежде всего хвостов обогащения и забалансовых руд становится весьма существенным дополнением к получению цветных и благородных металлов [1].

Например, европейская горнодобывающая промышленность имеет давние традиции и является одним из самых современных и самых инновационных промышленных секторов континента. Открытие новых месторождений, добыча и обогащение руды требуют серьезного внимания к исследованиям и разработкам. Горнодобывающая разведка, добыча и обогащение теперь поддерживаются технологиями высокого уровня. Промышленность также продвигает достижения в области защиты окружающей среды, здоровья и безопасности [24]. Несмотря на современные достижения, в Европейском Союзе по-прежнему образуются в значительном количестве отходы, представленные твердыми пустыми породами. Хвостохранилища формируют облака пыли, шламов и шлаков, жидкие отходы в виде сточных вод и стоков прорывают дамбы.

Переработка хвостов во многих странах мира преобразована из линейной экономики в экономику замкнутого цикла. Во всем мире проводятся исследования, в которых изучается переработка отходов для поиска новых источников металлов. Например, в Соединенных Штатах соленая вода как источник критических металлов и вводится так называемая водная добыча полезных ископаемых в качестве альтернативы традиционной добыче твердых пород.

Южная Африка богата металлами платиновой группы, однако низкие концентрации этих ценных металлов по-прежнему обнаруживаются в отходах, образующихся при добыче руды. Процесс фито добычи может быть многообещающим инструментом для извлечения этих ценных металлов. Фактически, исследование, проведенное во время пандемии COVID-19, показывает, что хвостохранилища в Индонезии могут стать потенциальным новым источником критически важного сырья.

Растущая эксплуатация природных ресурсов в Саудовской Аравии, несомненно, оставила после себя большое количество отходов, которые могут нанести ущерб окружающей среде. Опыт развития производства в данной стране показал, что из хвостов обогащения на ряде обогатительных фабрик можно получить концентраты, содержащие от 2 до 13 % меди при извлечении от 15 до 65 % флотационным способом или выщелачиванием [22].

На территории СНГ существует технология Rheomax® ETD. В результате проведенных экспериментальных исследований для переработки медьсодержащих хвостов Жезказганской обогатительной фабрики (Казахстан) предложена схема, включающая операцию флотоклассификации в замкнутом цикле с измельчением и флотацию с получением медьсодержащего продукта, пригодного для гидрометаллургической переработки.

Для переработки хвостов флотационных фабрик оптимальными условиями работы флотоклассификатора, при которых в сливе возможно

выделение значительного количества отвальных хвостов, являются подача исходного питания на пену и высокая аэрированность пульпы, обеспечивающие максимальное извлечение ценных компонентов в пенный продукт, который обогащается в сужающемся желобе [25].

Таблица 2. Краткие сведения о промышленном использовании отходов недропользования (хвостов обогащения) за рубежом

№	Хвостохранилища действующих и выведенных из эксплуатации ГОКов	Специализированные организации, выполняющие исследования по переработке и утилизации отходов недропользования	Соединения ценных компонентов (металлов) и продукция, получаемая при переработке и утилизации отходов недропользования	Проведение полупромышленных и промышленных испытаний на действующих предприятиях по переработке и утилизации отходов недропользования
Казахстан				
1	Хвосты обогащения Жезказганской обогатительной фабрики	ВНИИ Цветмет (Усть-Каменогорск)	Медь, цинк. Нерудные отходы в строительной индустрии и для закладки горных выработок	Промышленные
2	Хвосты обогащения медно-цинковых руд Лениногорского ГОКа содержащие благородные металлы	ТОО «Северо-Казахстанская металлургическая компания»	Медь, цинк, золото, серебро. Нерудные отходы в строительной индустрии и для закладки горных выработок	Действующая установка по переработке отходов недропользования

В таблице 2 приведены обобщающие данные, характеризующие некоторые организации Казахстана, разработавшие технологии по переработке и утилизации отходов недропользования [8]. Установлено, что технологии выщелачивания хвостов с активацией в активаторах типа «дезинтегратор» позволяют получать металлы с достижением существенного

экологического и экономического эффекта за счет увеличения выпуска товарных продуктов и оздоровления окружающей природной среды. Получены количественные значения эффективности природо- и ресурсосбережения за счет переработки хвостов по критерию минимума расходов на переработку и максимума снижения ущерба окружающей природной среде.

### 1.3. Влияние хвостохранилищ на окружающую среду

Хвосты представляют собой тип горных отходов горнодобывающей промышленности. При добыче полезных ископаемых ценная часть обычно заключена в матрице горной породы, называемой рудой. После того, как руда лишена ценных минералов, иногда путем добавления химикатов, она накапливается в хвостах. Хвосты могут достигать огромных размеров, появляясь на ландшафте в виде больших холмов (а иногда и прудов).

Хвосты, сложенные в виде больших куч, могут вызвать ряд экологических проблем. В работе М.А. Пашкевич (2019) [11] показано, что размещение отходов производства приводит к загрязнению подземных вод, воздействию на породы через их трансформацию в неустойчивое состояние, заболачивание и подтопление территории.

Кроме того, хвостовые свалы могут быть неустойчивыми и подвергаться оползням. Отложения сухих хвостов содержат мелкие частицы, которые подхватываются ветром, переносятся и оседают в близлежащих населенных пунктах. В хвостах некоторых серебряных рудников мышьяк и свинец присутствуют в пыли в достаточно высоких концентрациях, чтобы вызывать серьезные опасения для жизни людей. Хвосты от добычи меди и урана часто имеют измеримые уровни радиоактивности.

### 1.3.1. Влияние на водные объекты

Хвостохранилища могут иметь размеры в десятки гектаров, и в таких случаях утечки в поверхностные и грунтовые воды, вероятно, неизбежны. Деятельность горных и обогатительных предприятий, имеющих в своем распоряжении хвостохранилища, вызывает образование значительных объемов отходов в жидкой фазе. В результате намыва жидких отходов формируются гидрогеохимические ореолы и потоки загрязнения.

Из-за плохой изоляции дна стенок хранилищ жидких отходов происходит инфильтрация сточных вод и миграция загрязненных вод за пределы хвостохранилища. Вследствие выпадения осадков и в результате процессов выщелачивания и растворения твердых отходов наблюдается загрязнение в подземных водах. Когда на хвостохранилища падает дождь, он вымывает материалы, которые могут загрязнять воду, например свинец, мышьяк и ртуть. Серная кислота иногда образуется при взаимодействии воды с хвостами или может быть побочным продуктом переработки руды. В результате из хвостохранилищ просачивается очень кислая вода ( $\text{pH} < 5$ ), которая нарушает водную жизнь ниже по течению.

Тяжелые металлы, кислоты и другие загрязняющие вещества в конечном итоге загрязняют грунтовые воды, озера, ручьи и реки.

### 1.3.2. Влияние на атмосферу

Отложения сухих хвостов содержат мелкие частицы, которые подхватываются ветром, переносятся и оседают в близлежащих населенных пунктах. В хвостах некоторых серебряных рудников мышьяк и свинец присутствуют в пыли в достаточно высоких концентрациях, чтобы вызывать серьезные опасения и вносит существенный вклад в загрязнение атмосферы, которое многократно увеличивается с повышением скорости ветра и снижением влажности хвостов. Установлено, что с одного гектара сухой

поверхности хвостохранилища в атмосферу может поступить до 5,0 т мелкодисперсной пыли в сутки. В атмосферу выбрасываются вещества 1-4 классов опасности, в число которых входят такие опасные для человека вещества, как бензопирен, мышьяк, неорганические соединения, свинец и его неорганические соединения, кадмия оксид.

Мероприятия технического характера, уменьшающие негативное воздействие на атмосферный воздух:

- все работы должны производиться после предварительного увлажнения поверхностей. Вследствие пылеподавления выделение взвешенных веществ в атмосферный воздух может быть сведено к минимуму.

- при транспортировании пылящих материалов необходимо использовать брезентовое покрытие кузовов автосамосвалов, что позволит свести к минимуму выбросы взвешенных веществ при транспортировании;

- поддержание горной техники в исправном состоянии за счет проведения в установленное время техосмотра, техобслуживания и планово-предупредительного ремонта;

- запрещение эксплуатации техники с неисправными или неотрегулированными двигателями и на не соответствующем стандартам топливе;

- обязательный контроль за работой техники в период вынужденного простоя или технического перерыва в работе. Стоит отметить, стоянка техники в эти периоды разрешается только при неработающем двигателе;

- строгое соблюдение мер и правил по охране природы и окружающей среды работающими на строительстве.

При добыче и извлечении руды, одним из приоритетных загрязняющих веществ является неорганическая пыль. Наиболее значимыми являются: перевозка по внутриплощадочным автодорогам и пыление отвального хозяйства. Для снижения выбросов пыли и других вредных загрязняющих веществ в рамках проекта предусматриваются следующие мероприятия:

- мокрое бурение шпуров и скважин с орошением отработанной массы;
- применение способа гидровзрывания при проведении взрывных работ;
- локализация и осаждение пыли, образующейся при взрывных работах путем применения туманообразователей, орошение стенок и кровли выработок при проходке;
- применение оросителей в местах разгрузки и погрузки горной массы в подземном руднике;
- установка оросительных завес на входящей и исходящей струе перед массовыми взрывами в шахте;
- полив дорог в теплое сухое время года;
- аспирация узлов перегрузки руды и породы с последующей очисткой аспирационного воздуха в аппаратах сухого способа очистки.

### 1.3.3. Влияние на почву

Воздействие хвостохранилищ на земли и окружающий ландшафт может проявляться как в прямом, так и косвенным воздействием. Если в первом случае идет речь, что под данные объекты изымаются значительные территории, которые могли бы использоваться под сельское хозяйство, а также механическое нарушение горизонтов техникой, снятие почвенно-растительного слоя, то под вторым – изменение гранулометрического состава, т.к. хвосты включают мелкозернистые частицы, которые могут переноситься ветрами или периодически возникающими песчаными бурями и загрязнять почвы в окрестностях.

Кроме того, изменяется гидрологический режим, и очень часто на примыкающих территориях наблюдается заболачивание.

#### 1.3.4. Влияние на биоту

В период эксплуатации горной промышленности важным фактором воздействия на флору является запыление поверхности растений. По территориальной составляющей оно носит локальный характер (не выходит за границы санитарно-защитной зоны).

Второстепенным, но не менее важным фактором является - загрязнение растительности тяжелыми металлами (преимущественно подвижными формами тяжелых металлов (свинца, меди, цинка, хрома, никеля) через почвенные растворы, питающие растения). Но содержание подвижных, т.е. доступных для растений форм, составляет невысокую долю от валовых концентраций (т.е. накопление данных элементов в почве и в растениях происходит постепенно). Это позволяет управлять данным процессом, используя мероприятия по землеванию, внесению добавок, регулирующих реакцию почвенного раствора и др.

Воздействие прорыва дамб хвостохранилища на биоразнообразие может быть как немедленным, так и долгосрочным. Когда большие объемы хвостов попадают в водные пути, материал может оказывать физическое (например, повышенное помутнение, удушье) и химическое (например, токсичность от токсичных загрязнителей, пониженное содержание кислорода) воздействие на водные организмы.

Вносимые взвешенные вещества могут застревать в жабрах рыб, оказывая влияние на полуводные и наземные виды. Было также показано, что поток хвостов, засыпающих водные и прибрежные питомники, и устойчивое загрязнение тяжелыми металлами негативно влияют на регенеративную способность водных и наземных экосистем, приводя к долгосрочным изменениям в структуре и функциях экосистем. Это серьезно влияет на услуги, которые эти экосистемы предоставляют людям, такие как защита от наводнений, борьба с эрозией и стабильность почвы, очистка и регулирование воды, круговорот питательных веществ и хранение углерода.

Известно, что мигрирующие водоплавающие птицы садятся на хвостохранилища, что в некоторых случаях приводит к драматическим последствиям. В 2008 году около 1600 уток погибли после того, как приземлились на хвостохранилище битуминозных песков в Альберте, загрязненном плавающим битумом, смолоподобным веществом. Однако простые меры сдерживания могут значительно снизить этот риск.

Изучение территорий, прилегающих к хвостохранилищам, показало, что при удалении от объекта увеличивается количество видов растений и площади проективного покрытия. Еще на расстоянии около 125 метров площадь проективного покрытия может составлять около 30%, через 1 километр оно может возрасти в 2 раза по сравнению с начальной точкой измерения, а на расстоянии 5 км составлять до 90% и более.

Таблица 3. Виды растений по групповой принадлежности (%)

№	Наименование исследуемых объектов	Доминантные виды, %	Специфические виды*, %	Виды-аборигены, %	Охраняемые виды, %	Лекарственные виды, %	Адвентивные виды, %	Инвазивные виды, %
1	Учалинский ГОК	16,4	10,9	29,1	нет	9,1	1,8	12,7
2	Гайский ГОК	45,8	6,3	22,9	нет	25,0	10,4	13,0

\* - в данном случае, под термином «Специфические» понимаются виды, которые встречаются на исследуемом объекте. Для справки: Учалинский ГОК находится в горно-лесной зоне, Гайский ГОК находится в степной зоне.

Для комбинатов разработана система фиторемедиации территории. Она предусматривает создание насаждений с использованием древесных

растений: *Betula pendula*, *Picea obovata*, *Populus balsamifera*, *Pinus sylvestris*, *Larix sukaczewii* [21].

В период ведения открытой разработки месторождения на территориях, граничащих с объектами горных работ, исчезли практически все крупные дикие животные. В связи с этим, животный мир на участке работ в настоящее время представлен, в основном, немногочисленными мелкими грызунами, такими как полевка, мышевка, суслик, в границах санитарно-защитной зоны встречаются зайцы и лисицы [9].

### 1.3.5. Влияние на людей

Хотя точное количество дамб хвостохранилищ в мире неизвестно, при плохом проектировании, строительстве или управлении они представляют значительный риск для проживающих поблизости людей.

В 1966 году в Аберфане, Уэльс, гора обломков из хвостовой шахты обрушилась на здания, в результате чего погибло 144 человека. Известны также случаи схода зимних лавин с хвостохранилищ с гибелью жителей. В то время как прямые человеческие потери в результате прорыва дамб хвостохранилищ могут быть подсчитаны, долгосрочные социальные издержки в виде плохого состояния здоровья, потери доходов и средств к существованию в результате ухудшения состояния окружающей среды остаются в значительной степени неизвестными.

С точки зрения социального и экологического управления, всего горнодобывающие предприятия, должны пройти оценку воздействия на ОС и, в идеале, расширяться до завершения отдельных оценок социального воздействия. Хвосты шахт часто содержат мышьяк и другие загрязняющие вещества, которые могут быть опасны для здоровья.

Последствия длительного воздействия небольших количеств мышьяка могут быть незаметны сразу, поэтому лучше уменьшить воздействие. Дети,

беременные женщины и люди с заболеваниями более восприимчивы к воздействию мышьяка на здоровье.

## Глава 2. Объекты и методы исследования



## 2.1. «Гайский ГОК»



### 2.1.1. Особенности биоклиматических и орографических условий



#### 2.1.1.1. Характеристика хвостохранилища «Гайский ГОК»



## 2.1.1.2. Методы модернизации оборудования для уменьшения отходов на Гайском горнообогатительном комбинате



## 2.1.2. «Учалинский ГОК»



### 2.1.2.1. Физико-географическая характеристика территории



## 2.1.2.2. Характеристика хвостохранилища «Учалинский ГОК»



Глава 3. Сравнительная оценка воздействия исследуемых  
хвостохранилищ на окружающую среду



### 3.1. Сравнительная характеристика отвальных и подотвальных вод Учалинского и Гайского ГОКов



### 3.2. Сравнительная характеристика концентрации тяжелых металлов в почвах, прилегающих к Учалинскому и Гайскому ГОКа

### 3.3. Геоэкологический кризис на Учалинском ГОКе

## Заключение

1. Мировое сообщество вынуждено решать глобальную проблему освоения минерального сырья таким образом, чтобы, с одной стороны, можно было разрабатывать месторождения, а с другой – не нарушать экологическое равновесие в природе. Ежегодный объем образования отходов производства и потребления во всем мире продолжает расти. Наибольший вклад в образование отходов вносит горнодобывающая промышленность. Побочным продуктом добычи полезных ископаемых являются так называемые пустые породы, которые принято хранить на инженерных объектах, отвечающих требованиям безопасности и экологического контроля, в хвостохранилищах. Хвостохранилища обычно устраиваются в понижениях рельефа — ущельях, котловинах, на расстоянии нескольких км от обогатительной фабрики, отгораживаются дамбой, которая намывается из хвостов.

2. Под складирование горнопромышленных отходов в целом по России занято свыше 500 тыс. га земель, но их негативное воздействие проявляется на территории, превышающей эту площадь в 10–15 раз. Опасность хвостохранилищ для окружающей среды заключается в загрязнении подземных и поверхностных вод, загрязнении атмосферного воздуха за счёт пыления, загрязнения почвенно-растительного комплекса через ветровой унос пыли и загрязнение земель через инфильтрацию из подземных водоносных горизонтов.

3. Изучено влияние на окружающую среду хвостохранилищ Учалинского и Гайского ГОКов, занимающихся добычей медно-колчеданных руд и производством медного, цинкового концентрата, серного флотационного колчедана. По итогам сравнительной математической обработки данных и анализа картографических материалов выявлены основные элементы-загрязнители: Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Ni, As, и Fe. Территории вокруг хвостохранилищ подвержены техногенному воздействию в радиусе 1-3 км от

производственных объектов. Многие из вышеперечисленных элементов-загрязнителей относятся к первому и второму классам опасности и являются приоритетными загрязнителями, оказывая негативное воздействие на близлежащие территории.

4. Была выполнена эколого-геохимическая, пространственная оценка загрязнения территорий, прилегающих к хвостохранилищам. Выяснено, что 70% загрязнения обусловлено отходами производства, 30% - выбросами ГОКа. Рассеивание ТМ на расстояние от хвостохранилищ связано с пылением и дефляцией

Установлено, что на расстоянии до 3 км от хвостохранилищ ГОКов превышены концентрации цинка, меди и кадмия более чем в десятки раз, не превышали ПДК хром и свинец. С удалением от хвостохранилищ концентрации изученных тяжелых металлов сокращались.

## Практические рекомендации

Рекомендации даны на основе вышеизложенных материалов, с целью снижения негативного воздействия на ОС.

Необходимо:

Уменьшение фильтрационных потерь на основе инженерных решений:

- максимальной гидроизоляции, устройстве дренажей для сбора фильтрационных вод и их последующего возвращения в прудок хвостохранилища;
- увеличение доли оборотной воды;
- организация мониторинга подземных вод.

2) Технологическое соблюдение баланса между объемом поступления хвостовых вод в отстойный пруд и возвратом осветленных вод в технологический процесс (с учетом количества атмосферных осадков и объема испарения).

3) Система оборотного водоснабжения должна полностью исключить сброс дебалансных вод из хвостохранилища. Для непредвиденных случаев экстренного сброса в районе хвостохранилища следует предусмотреть специальный зумпф необходимого объема с последующим возвратом из него жидкости в технологический процесс (или удалением ее в соответствии с санитарными требованиями (очистка, необходимое разбавление и т.п.)).

4) Так как хвостохранилища имеют большую открытую поверхность, сложенную мелкодисперсным пылящим материалом с различной крупностью частиц (пески, илы), оно является мощным приземным источником неорганизованного поступления токсических загрязнителей в окружающую среду. Следует учитывать, что меньшая часть сдуваемой с поверхности хвостохранилищ пыли выпадает на узкой полосе земли, примыкающей к хвостохранилищу и ограждающей дамбе (приблизительно ширина составляет от 100 до 200 м.). А основными пылящими поверхностями являются

наружные откосы ограждающих дамб, высохшие поверхности отработанных карт хвостохранилищ.

Необходимые меры:

- сокращение пыления действующих и отработанных хвостохранилищ путём смачивания хвостов;

- создание эффективных санитарно-защитных зон вокруг хвостохранилищ (особенно это важно в населенных пунктах);

- рекультивация на основе связывания материала хвостов химическими соединениями, землевания хвостохранилищ, их самозарастания или лесопосадок;

5) Вокруг хвостохранилищ наблюдаются зоны загрязнения почв и растительности токсическими соединениями;

6) Повышение содержания опасных, токсических и радиоактивных соединений в растениях, и в первую очередь в сельскохозяйственной продукции, должно строго контролироваться. В зоне воздействия хвостохранилищ необходимо выращивать сельскохозяйственные культуры с низкими коэффициентами перехода опасных веществ из почвы в растения. При этом сельскохозяйственные культуры должны быть техническими.

## Список литературы

1. Березовский П.В. Экономическая оценка вторичных минеральных ресурсов / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 163 с. 2006/
2. Горбунов В. А., Кантемиров Ю. И. Результаты космического радарного мониторинга деформаций бортов и уступов карьеров ОАО «Гайский ГОК» и смещений земной поверхности и сооружений на промышленной площадке предприятия // Геоматика. – 2013.
3. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Бабенко Дмитрий Александрович. Обеспечение экологической безопасности хранения отходов обогащения медных руд. Санкт-Петербург 2021.
4. Емельяненко Е.А., Горбатова Е.А. Технологическая характеристика хвостов обогащения Учалинского горно-обогатительного комбината. // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли: Труды V Междунар. науч. — практич. конф (Екатеринбург 22—26 июня 2009 г.) — Магнитогорск, 2011.
5. Комащенко В. И., Голик В.И., Леонов И.В. Горное дело и окружающая среда: Учебное пособие для вузов. 2011.
6. Крупская Л. Т., Зверева В. А., Голубев Д. А., Бубнова М. Б, Тагирова В. Т. Проблемы снижения экологического ущерба экосистемам, нанесенного в прошлом веке добычей минерального сырья, и пути их решения в ДФО // Экологическая химия. Санкт-Петербург, 2016. Том. 25. Вып. 2. С. 91-99.
7. Макаров В. Н., Васильева Т. Н., Макаров Д. В., Алкацева А. А., Фарвазова Е. Р., Нестеров Д. П., Лащук В. В. Потенциальная экологическая опасность выведенных из эксплуатации хранилищ хвостов обогащения медно-никелевых руд // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 1. С. 85-93.

8. Малышев Ю.Н., Айруни А.Т., Куликова Е.Ю. Физико–химические процессы при добыче полезных ископаемых и их влияние на состояние окружающей среды. Москва: Издательство Академии Горных Наук, 2002.

9. Общество с ограниченной ответственностью «ЕМС-МАЙНИНГ». «Вскрытие и разработка подземным способом остаточных запасов руды в отм. гор. 1310-1630 м подземного рудника ПАО «Гайский ГОК». 1этап. Вскрытие запасов» (1 подэтап-Объекты подземного комплекса). Материалы по оценке воздействия на окружающую среду. Книга 1. Текстовая часть. 2018-12/10.1.1-ОВОС1. г. Санкт-Петербург 2020.

10. Орехова Наталья Николаевна. Научное обоснование и разработка технологии комплексной переработки и утилизации, техногенных медно-цинковых вод горных предприятий. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет». Магнитогорск 2014.

11. Пашкевич М.А. Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов Кольского полуострова / Пашкевич М. А., Матвеева В. А., Данилов А. С. // Обогащение руд. 2019. №1. DOI. 10.17580/gzh.2019.01.04.

12. Пашкевич М.А. Оценка экологической опасности производственных объектов при добыче и переработке полезных ископаемых / Зап. Горн. ин-та. 2006. С. 29-31.

13. Российская Академия Наук. Всероссийский институт научной и технической информации. Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Обзорная информация. Выпуск № 6.

14. Селицкий Г.А. Технологическая схема очистки карьерных и подотвальных вод. [Текст] /Экология производства. 2005.– № 9.

15. Студенческая библиотека онлайн 2013 – 2022. Гидрогеологическая характеристика месторождения. [Электронный ресурс] URL:

[https://studbooks.net/1772360/geografiya/gidrogeologicheskaya\\_harakteristika\\_mestorozhdeniya](https://studbooks.net/1772360/geografiya/gidrogeologicheskaya_harakteristika_mestorozhdeniya) (27.04.2023).

16. Удачин В.Н. Распределение физико-химических параметров колчеданных месторождений (Южный Урал). [Текст] /В.Н.Удачин, П.Г.Аминов, Г.Ф.Лонщакова, В.В.Дерягин //Вестник ОГУ – 2009. –№5.

17. Удачин В.Н. Химический состав и механизмы формирования кислотных рудничных вод Южного Урала. [Текст] / Б.Вильямсон, Р.Китагава, Г.Ф.Лонщакова, П.Г.Аминов, Л.Г. Удачина // Вода: химия и экология – 2011. – №10.

18. Ульрих Д.В., Тимофеева С.С. Оценка влияния горнодобывающих и перерабатывающих предприятий на состояние окружающей среды Челябинской области // Горный журнал. 2015. Т. 5. С. 94–99.

19. Федеральная служба государственной статистики. Окружающая среда. Отходы производства и потребления. [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (27.04.2023).

20. Харько П.А., Бабенко Харько, Д.А.Обоснование применения и разработка комплекса мероприятий по защите природных вод в районе расположения хвостовых хозяйств на примере горнообогатительных комбинатов Южного Урала. Московский экономический журнал. 2019. № 9. С. 11.

21. Шугаипова Линара Равильевна. Экологические особенности формирования растительности в зоне влияния карьеров горнообогатительных комбинатов южного Урала.

22. Agboola O., Babatunde D.E., Fayomi O.S.I., Sadiku, E.R., Popoola P. Moropeng L., Yahaya A., Mamudu O.A. A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. Results Eng. 2020, 8, 100181.

23. Drobe M., Haubrich F., Gajardo M., Marbler H. Processing tests, adjusted cost models and the economies of reprocessing copper mine tailings in Chile. *Metals* 2021, 11, 103.

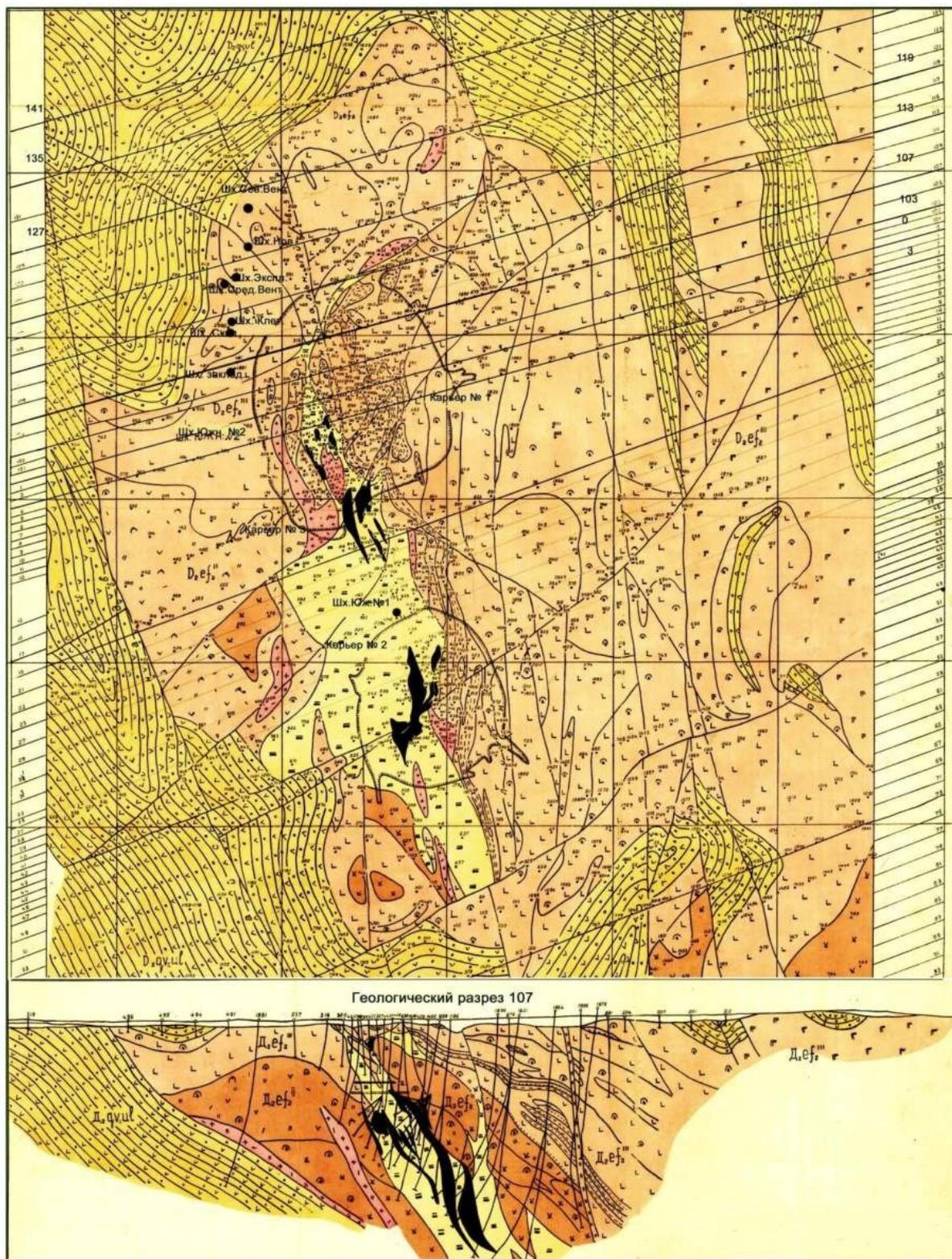
24. Garbarino E., Orveillon, G.; Saveyn H.G. Management of waste from extractive industries: The new European reference document on the Best Available Techniques. *Resour. Policy* 2020, 69, 101782.

25. Rybak J., Adigamov A., Kongar-Syuryun C., Khayrutdinov M., Tyulyaeva Y. Renewable-Resource Technologies in Mining and Metallurgical Enterprises Providing Environmental Safety. *Minerals* 2021, 11, 1145.

26. Šajn R., Ristic I., Ceplak, B. Mining and metallurgical waste as potential secondary sources of metals—acase study for the west Balkan Region. *Minerals* 2022, 12, 547.

27. VittiC.,Arnold B.J. The Reprocessingand Revalorization of Critical Minerals in Mine Tailings. *Mining, Met. Explor.* 2022, 39, 1–6.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Геологическая карта-схема района исследования



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б Легенда к карте-схеме района исследования

<b>I Рыхлые мезо-кайнозойские отложения</b>	
<b>четвертичные (Q<sub>2-3</sub>)</b>	
	Суглинок, супесь
<b>Среднеюрские отложения (J<sub>1-2</sub>)</b>	
	Переохлажденные продукты выветривания палеозойских пород (в обломках ставится знак исходной породы)
<b>II палеозойские породы</b>	
<b>Девон средний отдел</b>	
<b>Верхнеживетский подъярус</b>	
<b>Улутайская свита (D<sub>2</sub>z<sub>2</sub>ut)</b>	
	Вулканокластические конгломераты, гравелиты
<b>Нижнеживетский подъярус</b>	
<b>Бугульгинская толща (D<sub>2</sub>zvbg)</b>	
	Рышны, вымороженные кремни, кварц-гематитовые породы
<b>Верхнеэйфельский подъярус</b>	
<b>Вулканогенный комплекс</b>	
<b>Третья толща (D<sub>2</sub>ef<sub>2</sub>)</b>	
а) Породы базальт-андезит-базальтового ряда (сварчатая толща)	
	Плагиоклазовые, пироксен-плагиоклазовые порфириты
	Габбро-диабазы
	Лапы базальтовых (плагиоклазовых, пироксен-плагиоклазовых, диабазовых) порфиритов
	Туфы базальтовых, андезит-базальтовых порфиритов
	Туфобрекции и вулканические брекчи базальтовых, андезит-базальтовых порфиритов
б) Туфогенно-осадочные слоистые породы смешанного состава (залегающие в основании надрудной толщи)	
	Переохлажденные туфы смешанного состава, состоящие из обломков низкележащих кислых пород и шлакового базальтового материала
<b>Вторая толща (D<sub>2</sub>ef<sub>2</sub><sup>II</sup>) породы андезит-дацит-липаритового состава (последовательно вытравленная формація)</b>	
в) Зернистая-пирокластическая порода андезит-дацитового и дацитового состава	
	Туфоконгломераты вытравленного минералогенных андезитов
	Туфоконгломераты и туфобрекции андезит-дацита
	Туфы андезит-дацитового состава литовитро-класические, иногда спелые
	Нечетко слоистые туфы андезит-дацитового состава
	Андезит-дацитовые порфириты нерасчлененные, андезит-дациты
	Дацитовые порфириты, дациты
	Лапы и лапобрекции дацитового и андезит-дацитового состава нерасчлененные
б) Породы зернистой и экстракционной фазы андезит-дацитового и дацитового состава, подверженные фазовым диагенетическим изменениям (заоблитыванию, сбраживанию, доцереановидному выцветанию)	
	Игнимбритаэвидные породы андезит-дацитового и дацитового состава
в) Зернистая-пирокластическая порода липарит-дацитового состава	
	Туфы и туфобрекции смешанного липарит-дацитового состава
г) Породы зернистой, экстракционной и субвулканической фазы липаритового и липарит-дацитового состава (обычно преобразованные в метасоматиты типа вторичных кварцитов)	
	Липарит-дациты нерасчлененные
	Кварцевые липарит-дациты, кварцевые порфириты
	Зернистые брекчи полиминерального состава (обломки дацитов, липаритов, плагиогранитов, вкрапленники кварца)
	Первая толща (D <sub>2</sub> ef <sub>2</sub> <sup>I</sup> ) кремнистые, углисто-дацито-кремнистые арчимиты, песчаники, гравелиты
<b>Жерловые и субвулканические тела основного состава, связанные с вазальт-андезит-базальтовой фазой вулканизма</b>	
	Плагиоклазовые, пироксен-плагиоклазовые порфириты
	Габбро-диабазы
	Аризовые диабазы минералогенные (жильные)
<b>Метасоматические породы (полевой шпат полностью замещен)</b>	
	Вторичные кварциты
	Серицит-кварцевые породы
	Серицит-липарит-кварцевые породы
	Кварц-аллеритовые породы