

Санкт-Петербургский государственный университет

***БОНДАРЕНКО Валерия Викторовна***

**Выпускная квалификационная работа**

***«Эколого-экономическая оценка возможности эксплуатации техногенных месторождений (на примере отвала отходов горно-рудного производства в городе Питкяранта)».***

Бакалавриат:

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа СВ.5024 «Экология и природопользование»

Научный руководитель:  
доцент кафедры экологической  
геологии СПбГУ, кандидат  
геол.-мин. наук,

Зеленковский Павел Сергеевич



Рецензент:

доцент кафедры геологии и  
геоэкологии факультета географии  
РГПУ им. А.И. Герцена,  
кандидат геол.-мин. наук,

Подлипский Иван Иванович

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 2  |
| 1. Понятие «техногенное месторождение», свойства, классификация и способы их образования.....  | 5  |
| 2. Литературный обзор.....   | 10 |
| 2.1. Степень разработанности проблемы.....   | 10 |
| 2.2. История возникновения проблемы освоения техногенных месторождений в России.....   | 12 |
| 2.3. История добычи полезных ископаемых на территории Питкяранстского месторождения. ...   | 14 |
| 2.4. Преимущества и недостатки разработки техногенных месторождений.....   | 15 |
| 3. Физико-географическое описание.....   | 18 |
| 3.1. Характеристика географического положения р. Карелии. ....   | 18 |
| 3.2. Рельеф. ....  | 20 |
| 3.3. Геологическое строение. ....  | 21 |
| 3.4. Тектоника.....  | 23 |
| 3.5. Климат.....   | 24 |
| 3.6. Гидрогеология. ....   | 25 |
| 3.7. Почвенный покров. ....  | 27 |
| 3.8. Растительный покров.....  | 28 |
| 4. Основные этапы исследования техногенных месторождений.....  | 30 |
| 4.1. Полевые исследования и аппаратурно-методическое обеспечение аналитических исследований ТМ. ....   | 30 |
| 4.2. Методика и техника эколого-экономической оценки ТМ. Статистическая обработка данных и оценка экономической эффективности разработки шлакоотвала. .... | 33 |
| 4.3. Оценка эффективности разработки техногенных месторождений. ....   | 38 |
| 5. Результаты исследования и их обсуждение. ....   | 43 |
| Заключение.....  | 49 |
| Благодарности.....   | 51 |
| Список литературы.....   | 52 |
| Приложения. ....   | 60 |

## Введение.

На сегодняшний день одной из первостепенных проблем устойчивого социально-экономического развития, которое сохраняет качество окружающей среды и учитывает способность удовлетворять разумные и фундаментальные потребности населения, представляется проблема рационального использования минеральных ресурсов, включая техногенные источники сырья.

Современные технологии не предоставляют возможности извлечения исключительно полезных компонентов из недр, извлекаемая масса содержит большое количество отхода, не находящего в производстве дальнейшего применения. В связи с этим предприятия складывают его на поверхности, которая больше не может использоваться в хозяйстве.

К началу 2018 года в России накоплено 38 млрд 73 млн т промышленных и бытовых отходов, причем порядка 90% приходится на различные производства, в основном добывающие. На данный момент уровень переработки в России составляет лишь 5-7% (в 2018 году было утилизировано для повторного применения 2 млрд 53,9 млн т), в то время как в странах Европейского союза перерабатывается до 60% твёрдых коммунальных отходов (Государственный доклад..., 2018).

Подвергаясь процессам выветривания и другим, склад минеральных отходов глобально воздействует на окружающую среду. Кроме этого, по мере разработки месторождений ухудшаются условия добычи полезных ископаемых, что приводит к еще большему образованию отходов добычи и переработки.

В России обращение с отходами характеризуется неэффективным использованием материальных и энергетических ресурсов, возрастающим негативным воздействием на окружающую среду и здоровье человека, и в этом случае, решением, способным возместить нехватку минерального сырья в будущем, является использование полезных ископаемых техногенных образований.

Скопление техногенных минеральных ресурсов, образовавшееся в результате складирования отходов производства и пригодное для разработки и переработки стало называться «техногенным месторождением».

Практически все компоненты, которые содержатся в минеральном отходе, могут быть полезны при определенных условиях, это означает, что почти все отвалы с отходами можно отнести к таким месторождениям.

**Актуальность** эколого-экономической оценки природных ресурсов, в том числе содержащихся в отвалах, была признана несколько десятилетий назад во многих странах.

Страны, вмещающие огромные запасы минеральных ресурсов, широко применяют экономические методы стоимостной оценки ресурсов (Канада, Австралия, США и др.). В других развитых странах ведется учет природных ресурсов и состояния окружающей среды в эколого-экономических показателях, устанавливаются оптимальные параметры и ограничения устойчивого развития с помощью составляемых ресурсных балансов.

Необходимость изучения техногенных месторождений с экономической точки зрения обусловлена следующими факторами:

- существующий спрос на минеральное сырье;
- истощение уже действующих месторождений полезных ископаемых;
- нехватка рабочих мест на месторождениях;
- затраты на содержание отвалов и хвостохранилищ;
- высокая себестоимость обогащения руд в связи с добычей, дроблением и классификацией.

Разработка техногенных месторождений для вторичного использования минеральных ресурсов обосновывается не только экономической, а еще и экологической причиной, поскольку в отходах разработанного сырья накапливается немалое количество токсичных и потенциально опасных элементов, таких как ртуть, мышьяк, бериллий, кадмий, таллий и др. Аэрогенный вынос шлакового материала обуславливает загрязнение приземного слоя атмосферы, а ассимиляция твердых частиц на прилегающей территории приводит к загрязнению почв. Ликвидация хранилищ твердых минеральных отходов в значительной мере способствует улучшению состояния окружающей среды, рациональному природопользованию (Черенцова, Олесик, 2013).

Так, переработанные отходы улучшают эффективность производства, являются дополнительным ресурсом для получения сырья, материалов и энергии для народного хозяйства.

Несмотря на наличие обширного научного материала по рассматриваемому вопросу, проблема комплексной оценки использования техногенных месторождений в настоящий момент не решена, экологическая и социально-экономическая обстановка в некоторых городах является достаточно тяжелой, что обуславливает необходимость проведения дальнейших экономических исследований в этой области и является актуальным направлением экологической и экономической наук. Исходя из этих причин, была выбрана тема для данной выпускной квалификационной работы.

**Целью** данной работы является анализ состава шлакоотвала в черте города Питкяранта, оценка перспективности вторичного использования и подбор оптимального способа переработки шлаков на данной территории.

**Для достижения данной цели был поставлен ряд задач:**

1. Изучение литературы по теме техногенных ресурсов и месторождений, ознакомиться с особенностями геологического строения Питкярантского горно-рудного района;
2. Выявление преимуществ и недостатков при разработке техногенных месторождений;
3. Рассмотрение основных методологических принципов оценки экономической эффективности освоения техногенных источников сырья;
4. Проведение химико-аналитических работ с учетом данных предыдущих исследований;
5. Обработка данных и оценка экономической эффективности разработки шлакоотвала;
6. Подбор оптимального алгоритма переработки и утилизации отходов из шлакоотвала.

**Объектом** исследования является шлакоотвал переработки руд месторождений, находящихся в центре города Питкяранта, республика Карелия.

**Научная новизна** исследования состоит в применении результатов анализа состава шлакоотвала для расчетов, необходимых для эколого-экономической оценки, а также в разработке эффективной и комплексной схемы переработки существующих залежей.

## **1. Понятие «техногенное месторождение», свойства, классификация и способы их образования.**

Большинство минеральных ресурсов страны по составу являются поликомпонентными, иногда они разрабатываются по моносырью, но при этом все остальные образующиеся в результате добычи или переработки полезных ископаемых отходы складываются на поверхности Земли. Весь этот материал представляет собой вторичные ресурсы, в которых нередко содержится весьма ценное минеральное сырьё (Архипов, Решетняк, 2017).

Поскольку образования, содержащие недоизвлеченные минеральные компоненты, могут быть довольно большими по площади и объему, в начале 70-х годов 20 века академиком Мельниковым Н.В. впервые был введен термин «техногенные месторождения» (ТМ) – техногенные образования, которые по качеству и количеству пригодны для эффективного использования в производстве в настоящее время или в будущем. Это означает, что в определенных условиях становится возможным извлечение из данных скоплений минеральной массы полезных ископаемых в промышленных масштабах (Архипов, Решетняк, 2017).

В 1982 году академиком М. И. Агошковым была предложена классификация георесурсов, в которую вошли природные минеральные образования, тепло недр Земли и техногенные полости. Под руководством академика К.Н. Трубецкого в конце 80-х годов была предложена классификация техногенных месторождений (Архипов, Решетняк, 2017).

Техногенные месторождения являются результатом интенсивного развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Они представляют собой класс месторождений, сформировавшихся в районах горнорудной промышленности – Украина, Казахстан, Северо-запад и Юго-восток европейской части России, Урал, Юго-восток и Восток азиатской части, Центр Сибири и др. (<https://www.docsity.com>).

Техногенное минеральное образование – скопление запасов твердых или жидких продуктов производственной деятельности на поверхности или техногенных полостях в недрах Земли, достаточное по объемам для промышленного освоения.

Техногенные минеральные ресурсы – минеральные запасы, которые приходится отходами горно-обогатительной и металлургической отраслей.

Отходы горнопромышленного производства, в которые входят шламы и шлаки металлургических заводов, хвосты фабрик обогащения, золы тепловых электростанций, отвалы вскрышных пород, нередко имеют высокую ценность в промышленности, такие месторождения имеют исключительный минеральный состав и могут быть источником

полезных ископаемых, например, цветных, редких и благородных металлов, а также строительных материалов (щебень, песок, гравий и т.д.).

Техногенные месторождения образуют отвалы от добычи полезных ископаемых, хвостохранилища обогатительных фабрик, золо- и шлаковые отвалы ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, складированные отходы металлургического и другого производства, тем самым, они не только занимают большие участки городских земель, но еще и наносят ущерб окружающей среде. Сами предприятия также оказывают мощнейшее воздействие на почву, атмосферу, водную среду, так как из зоны горных работ необходимо водоотведение.

Хвостохранилище – объект для хранения и захоронения токсичных, радиоактивных отвальных отходов добычи и обогащения полезных ископаемых.

Шлакоотвал – объект для складирования побочных продуктов или отходов от производства металла.

Крупнейшим производителем отходов, среди которых в основном шлаки, считается промышленность цветной и черной металлургии. Шлаки скапливаются годами и являются источником полезных компонентов, содержащихся в отвале.

Государственным балансом на данный момент учтено около 200 техногенных месторождений с запасами цветных, черных, редких металлов и неметаллов.

#### **Особенностями техногенных месторождений являются:**

- 1) они географически расположены только в промышленно-развитых районах;
- 2) они находятся на поверхности Земли и горная масса в них преимущественно дезинтегрирована;
- 3) в них находятся большее количество минералов (более 30 000), чем в обычных месторождениях (около 3 000). В этом заключается сложность переработки, так как из-за многообразия минеральных форм требуются отличающиеся технологии, основанные на последних достижениях науки и техники (<https://www.docsity.com>).

#### **Состав и строение техногенных месторождений.**

Состав и строение техногенных месторождений определяются целым рядом факторов, важнейшими среди которых являются:

- 1) условия образования (добыча и обогащение руд и угля, переработка концентратов руд, сжигание угля и т.д.);
- 2) состав исходного сырья (месторождения цветных и редких металлов, полиметаллические, железорудные и другие типы коренных месторождений);
- 3) физико-химические и механические процессы климатического воздействия и выветривания отвалов, которые приводят к изменению минералогического и

вещественного состава техногенных отложений, выносу элементов и образованию ореолов рассеяния вокруг отвалов (<https://www.docsity.com>).

### **Способы образования и классификация техногенных месторождений.**

В целом отходы горного производства можно разделить на следующие категории:

- отходящий воздух – возникает при проветривании горных выработок, зданий и сооружений, в которых протекают производственные процессы, осуществляется разрушение массива горных пород механическими или взрывными способами и происходят обогатительные реакции. Данная воздушная смесь содержит минеральную пыль, выделяемые горным массивом газы, взрывные газы, продукты сгорания и т. д.;

- сточные воды – формируются при откачивании из выработок, поступающих в них поверхностных и подземных вод, а также воды, используемой в системе водоснабжения и в обогатительных процессах. В результате этого данная жидкость содержит взвешенные частицы, обогатительные реагенты, нефтепродукты и ряд других компонентов;

- твердые минеральные отходы – образуются в силу несоответствия между составом недр и потребностями общества. Их можно разделить на отходы добычи (вскрышные породы) и отходы переработки полезного ископаемого (хвосты) (Большенко, 2006).

Месторождения техногенного характера представлены хвостохранилищами – отходы переработки первичного сырья, и отвалами, которые образуются за счет попутно извлекаемой горной массы.

Количество образующихся минеральных отходов в основном зависит от характеристик конкретного месторождения: условий залегания полезного ископаемого, способа и технологий разработки, содержания полезного компонента, технологий обогащения и т. д.

**Классификация техногенных месторождений** прежде всего зависит от показателей, характеризующих месторождение, к которым относят:

- условия образования,
- объёмы,
- вещественный состав,
- характер процессов, преобразующих первичное вещество,
- неоднородность влияния отдельных показателей на принятие технологических решений и экономических оценок (<https://www.docsity.com>).

По морфологическим признакам ТМ можно разделить на 2 типа:

1. Месторождения насыпные, представляющие собой холмы и терриконы. К этому типу относятся:



- терриконы угольных шахт и разрезов;
- отвалы рудников и карьеров руд цветных, чёрных и редких металлов, сложенные дезинтегрированными вскрышными и вмещающими породами;
- техногенные россыпи, образующиеся при разработке россыпных месторождений и из отходов золоторудных фабрик;
- шлакоотвалы цветной и чёрной металлургии.

2. Месторождения наливные, образующиеся при заполнении впадин земной поверхности. Представителями этого типа ТМ являются:

- отходы обогащения руд (шлако- и хвостохранилища горнообогатительных фабрик);
- шлакоотвалы цветной и чёрной металлургии;
- золо- и шлакоотвалы энергетического комплекса, возникающие при гидравлическом удалении золы и шлаков с теплоэлектростанций;
- шлакоотвалы химических производств.

По составу техногенные месторождения подразделяются на 4 типа:

1. Породные ТМ, состоящие из природных горных пород и представленные глыбово-щебенистым материалом и шламо- и хвостохранилищами обогатительных фабрик.
2. ТМ пирометаллургических процессов цветной и чёрной металлургии, сложенные шламами и шлаками.
3. ТМ теплоэлектростанций, сложенные золой и шлаками ТЭС.
4. ТМ химического производства (шламы).

По возможностям использования твердые минеральные отходы можно разделить на три группы:

- 1.отходы, для которых отсутствуют технологии их переработки или объемы их образования превышают потребности экономики в данном виде ресурсов;
- 2.отходы, для которых имеются технологии переработки, но недостаточны производственные мощности;
- 3.отходы, являющиеся вторичным сырьем и включенные в материальные балансы, но еще не используемые предприятиями.

По возможным областям использования ТМ подразделяются на 3 типа:

1. ТМ строительного сырья, позволяет освобождать земли от отходов с последующей рекультивацией;
2. ТМ (по извлекаемому металлу) – медные, цинковые и т.д., допускает дополнительную добычу металла без освобождения территории отвала от отходов;
3. ТМ смешанного типа, т.е. пригодные для получения стройматериалов и металла, позволяет проводить рекультивацию земель и дополнительное извлечение металлов.

По экологическому воздействию среди техногенных месторождений выделяют:

1. Неопасные, представленные горными породами и щебенистыми шлаками цветной и чёрной металлургии, слабо разрушающимися в течение хранения.

2. Поражающие атмосферу и гидросферу, если они сложены окисляющимися или глинизирующимися породами, окисляющимися шлаками и шламами, пылящими шламами и высохшей пульпой хвостохранилищ.

В настоящее время терминология, классификация техногенных месторождений, критерии принадлежности их к определенному типу меняются и дополняются по мере углубления исследований и практических работ в области разработки техногенных месторождений. Сейчас популярностью пользуется классификация, в которой представлены условия формирования, вещественный состав и возможные области использования (рисунок 1), с помощью нее можно оценить основные характеристики любого типа месторождений (<https://www.docsity.com>).



Рисунок 1. Классификация техногенных месторождений (<https://www.docsity.com>)

## **2. Литературный обзор.**

### **2.1. Степень разработанности проблемы.**

Еще в XX веке, при появлении понятия «качество жизни», многих ученых стало интересоваться состоянием окружающей среды.

Количество публикаций российских и зарубежных исследователей по теме значительно отличается; все потому, что в других странах людей всегда интересовало безотходное использование ресурсов, и ученые изначально рассматривали возможность эксплуатации всех извлеченных компонентов, в отличие от практики в СССР.

Однако, рассматривая опыт зарубежных стран, при отработке всех полезных компонентов, все остальные массы породы отправлялись в отвалы, в настоящий момент которые не представляют ценности. В России же огромное количество ресурсов захоронены в отвалах и хранилищах, некоторые из них с самого начала развивались по правилам, что может облегчить их освоение в будущем, среди таких, склады забалансовых и попутных полезных ископаемых.

С самого начала развития принципа рациональной эксплуатации ресурсов, одна часть ученых разрабатывает теоретические аспекты нынешних вопросов, например, вводят специфику формирования техногенных месторождений, оценивают перспективы их разработки, изобретают усовершенствованные классификации (И. Гуменик, Г. Секисов, К. Трубецкой и др.) (Большенко, 2006).

Другие исследователи – А. Дулин, В. Эстеркин, О. Игнатьева, М. Ситтиг, А. Петросов и другие – изучают технологии, которые могут обеспечить комплексный подход к разработке техногенных месторождений, разрабатывают технологии с безотходным и малоотходным производством (Большенко, 2006).

Еще часть ученых оценивают последствия повторного использования отраслей горной добычи в России и влияние на экологию, социальную структуру общества в районах расположения предприятий горной промышленности (А. Ковальчук, А. Астахов, Э. Черкесова, Л. Тропко и др.) (Большенко, 2006).

С 2010 по 2016 г. наблюдается значительное увеличение публикаций отечественных исследователей на данную тему.

В последние годы регулярно проводятся конференции, в которых обсуждаются принцип, история и способы формирования техногенных месторождений на региональном и мировом уровнях, формируется идея решения проблемы их освоения.

В 2016 г. в Государственной думе РФ состоялось совместное заседание Высшего горного совета и Комитета Государственной думы Федерального собрания Российской

Федерации по природным ресурсам, природопользованию и экологии. На заседании был рассмотрен вопрос «Развитие промышленной переработки техногенного сырья в России». По итогам заседания приняты традиционные рекомендации о стимулировании освоения залежей техногенного сырья и целесообразности повторения исследований, выполненных АН СССР более 30 лет назад, применяя современный взгляд на проблему (<http://duma.gov.ru/news/11916/>).

В настоящий момент в мире ученых волнует уровень комплексности использования отходов горнодобывающих отраслей в совокупности с истинным продуктом, и по этой проблеме посвящены многие работы научных исследователей.

Некоторые ученые (Рыжова, 2015), (Бусырев, 2016) и другие, в своих публикациях рассматривают способы экономических расчетов вовлечения в разработку месторождений, отчитываются о полученных результатах по объектам, включая числовые расчеты и данные; многие отмечают значимость освоения этих залежей с точки зрения экологии и экономики.

Несколько публикаций были посвящены изоляции активных компонентов в месторождениях различными способами – (Склярова, 2013), (Месяц, 2015), (Sanchez, 2013), (Tong, 2011).

По видам полезных компонентов подавляющее количество публикаций посвящены техногенным месторождениям драгоценных металлов с огромной долей золота, также рассматриваются залежи угля, чёрных, цветных и редких металлов, фосфатного сырья, щелочных металлов и редкоземельных элементов, строительных материалов. Опубликованы некоторые результаты исследований по другим видам минерального сырья, включая комплексные многокомпонентные полезные ископаемые – (Алушкин, 2015), (Минина, 2012), (Сосновский, 2012) и др.

Среди географов, экологов, биологов нашлись и экономисты, считающие охрану природы одной из главных задач. Экономисты-исследователи такие, как А. Бароне, Р. Коуз, Э. Линдаль, А. Пигу, П. Самуэльсон и др., развивали идею защиты окружающей среды в связи с учетом ее влияния на развитие общества (Мухамадиева, 2019).

В настоящий момент в мире необходимость эколого-экономической оценки ресурсов утверждается на высоком уровне. Так, в Экологической доктрине Российской Федерации (Экологическая доктрина..., 2002) в качестве одного из главных экономических и финансовых механизмов по обеспечению рационального природопользования и охраны окружающей среды предусмотрено включение в экономические показатели полной и все возрастающей ценности природных объектов и экологических услуг и их учет при принятии управленческих решений. Наблюдается постоянный рост роли эколого-

экономической оценки природных ресурсов как элемента системы государственного управления природно-ресурсным потенциалом нашей страны. В связи с этим возрастает роль эколого-экономической оценки природных ресурсов как элемента системы государственного управления природно-ресурсным потенциалом территории РФ (Садов, 2014).

В. Литвиненко, А. Астахов, Е. Соловьева и многие ученые в своих исследованиях по оптимизации производства в минерально-сырьевом комплексе сформулировали цели, являющиеся наиболее важными для экономической оценки месторождений:

- определение денежной стоимости (продажной цены) объекта;
- обоснование целесообразности вложения капитала в освоение месторождения или реконструкцию рудника (Блошенко, 2015).

В настоящее время до сих пор существуют проблемы с определением объективных методов, позволяющих оценить природные условия и ресурсы, и единых подходов к их определению. Для того чтобы осуществить эколого-экономическую оценку природных ресурсов, необходимо учитывать уровни государственного управления природно-ресурсным потенциалом – федеральный, региональный, локальный (см. приложение 1).

## **2.2. История возникновения проблемы освоения техногенных месторождений в России.**

Возникновение техногенных месторождений из отвалов предприятий горной добычи и металлургии в качестве источника вторичных сырьевых ресурсов рассматривались еще с прошлого столетия.

Исследованиями последних лет установлено, что в России к настоящему времени накоплено свыше 50 миллиардов тонн техногенных отходов, содержание металлов в которых нередко превышает их содержание в рудах, извлекаемых из недр и поступающих на обогащение. Особенно это относится к старым отвалам и хвостохранилищам, которые формировались в 40-50-е годы прошлого столетия, когда не уделялось должного внимания комплексному изучению минерального сырья, а кондиции добычи и переработки были значительно выше современных (<https://www.docsity.com>).

В настоящее время накоплен большой, в основном успешный опыт в области переработки отвалов.

Например, отходы, содержащих медь, оценивались на большей части медных предприятий Урала еще в 1930-х годах. С середины XX века стали оцениваться на основные и попутные полезные компоненты (<https://www.docsity.com>).

В 1970-1980 некоторые комбинаты (Хрустальненский, Солнечный, Алмалыкский и Зырянский) решили провести ревизию существующих отвалов, произвели добычу и использование некондиционных руд для получения дополнительной продукции (олова, свинца, цинка и др.) (<https://www.docsity.com>).

Существует соглашение с владельцами участков в Гайане, Перу, Эквадоре по отработке золотоносных и алмазоносных участков – монолитных и техногенных отвалов. Проект на ранее исследованных и испытанных площадках предложен в Кооперативной Республике Гайана, на которых среднее содержание полезных компонентов составляет – 0,5-3 г/м<sup>3</sup> золота и 0,3-1,5 карата/м<sup>3</sup> алмазов. Учитывая заниженное содержание полезных компонентов (0,3 г/м<sup>3</sup> и 0,1 к/м<sup>3</sup> соответственно), погасить затраты и вернуть кредиты с процентами получится в течение 3 лет; исходя из текущей себестоимости добычи золота, средняя стоимость унции золота, добытого из руды, составляет 1000 долларов, стоимость добытой нами унции не превысит 200 долларов (Ecological project...).

Некоторые примеры переработки россыпных месторождений показали, что экономическая эффективность работ с использованием техногенных запасов соизмерима с разработкой неоткрытых месторождений и лучшим качеством сырья. Кроме того, результаты эксплуатации техногенных месторождений достаточно стабильны. При выполнении вторичных работ по добыче алмазов на россыпях в течение семи лет добывалось в среднем 40-50% от первоначально добытого количества ценных компонентов. В Забайкалье 34-60% первоначально добытого золота было добыто при разработке драг-отвалов с помощью двух препаратов. Добытое количество золота при разработке отвалов на Ленском золоторудном месторождении составило 45%. В среднем по результатам переработки россыпей вторично извлекается 30% первоначально выработанных ценных компонентов (Talgamer, 2017).

В 2014 году в г. Тюмень построили завод, где из твёрдых шламов титаномагниевого производства предполагалось получать около 800 т магнезиально-карналлитового вяжущего вещества. Сырье для нового производства поставлялось из Пермской области и Казахстана. Технология для нового производства были разработаны в сотрудничестве с ТюмГАСУ, а на Челябинском цинковом заводе активно внедряется процесс извлечения цинка из электропечных пылей «Северстали»: содержание металла в них вчетверо выше, чем в руде (15-16 %) (Архипов, Решетняк, 2017).

Наиболее эффективной оказалась повторная разработка глинистых россыпей на Урале и в Якутии. Это обусловлено, в первую очередь, низкой промывистостью продуктивных отложений, из-за которой значительная доля (иногда до 50 %) неразмывтых глинистых песков попадала в галечные отвалы. После многолетнего лежания неразмывтые

глинистые части под воздействием выветривания разрушались, ценные компоненты высвобождались и в последующем извлекались при повторном драгировании с использованием того же обогатительного оборудования (Снетков, Тальгамер, 2014).

Можно отметить многочисленные попытки вовлечения в разработку забалансовых руд, с получением конечного продукта с возможностью переработки по существующей схеме полученного промышленного продукта или запросам внешнего потребителя. В качестве объекта исследования использовались медно-молибденовые руды двух месторождений – Эрдэнэтийн-Овоо (Монголия) и Кальмакыр (Узбекистан). За основу взята минералого-технологическая оценка техногенных отложений, на основе которой формируются технологическая схема и реагентный режим, рассмотрены способы подготовки к переработке заскладированных забалансовых руд (Архипов, Решетняк, 2017).

Несмотря на успешные вовлечения залежей отходов от горной добычи и других отраслей промышленности, техногенные месторождения до сих пор используются в малом масштабе; в основном, это из-за высокой капиталоемкости и необходимости сооружения новых производств, которые реализуют технологии переработки, либо замены уже существующего предприятия.

### **2.3. История добычи полезных ископаемых на территории Питкярансткого месторождения.**

Питкярансткое месторождение меди, олова, цинка, железа известно в Северном Приладжье еще с начала XIX века. Оно было открыто в 1810 году и эксплуатировалось до 1904 года. Вначале месторождение разрабатывалось как медное, с 1860-х годов как медно-оловянное, а с 1880-х годов как серебряное и железное. Сначала руду добывали в шахтах на территории Питкяранты (Старое рудное поле), а к началу XX в. стали разрабатываться мелкие, схожие по составу месторождения в окрестности 5-7 км – Новое рудное поле, Хопунвара, Люпикко, Хепоселька (рисунок 2). Обогащение руд и плавка производились также в Питкяранте на нескольких заводах. Велась активная добыча полиметаллических руд, которые перерабатывались, как правило, на месте добычи. С 1842 по 1904 год месторождение дало 488 т олова, 6617 т меди 11,2 т серебра, 100 тыс. т железа и 32 кг золота. Разработка велась до глубины 90-120 м (<https://webmineral.ru>).



Рисунок 2. Схема расположения старых рудников в районе г. Питкяранта: 1-7 – шахты Старого рудного поля (1 – Шварц I и II, 2 – Николай I и II, 3 – Мейер I, II, III и IV, 4 – Омелянов I, II, III и IV, 5 – Тойво, 6 – Клее I, II, III, V и VI, 7 – Ристаус и Мария); 8-10 – шахты Нового рудного поля (8 – Гербертц II, 9 – Гербертц I, 10 – Валкеалампи); 11-17 – шахты рудного поля Хопунвара (11 – Бекк, 12 – Клара III, 13 – Клара II и I, 14 – Винберг I, 15 – Винберг II, 16 – Винберг III, 17 – мраморный карьер Хопунвара); 18-19 – шахты Рудного поля Люпикко (18 – Восточная залежь, 19 – Западная залежь); 20 – рудники Хепоселькя; 21 – мраморный карьер Ристиниеми (Рощин, 2012-2017)

После 1930-х годов производилась переоценка запасов и поиск новых проявлений полиметаллических и редкометалльных руд - сначала финскими, затем советскими геологами. Учитывая сложность восстановления затопленных шахт, месторождение отнесено к разряду резервных, в районах старой добычи основные рудные тела были признаны практически полностью выработанными, оставшиеся в недрах запасы цветных металлов оказались относительно невелики для продолжения добычи, однако найдено множество новых проявлений цинка, олова и редких металлов. С 2000-х годов район позиционируется как учебный для проведения геологической практики студентов (Рощин, 2012-2017).

Из-за несуществующих в то время перспективных технологий извлечения всех полезных компонентов, в шлакоотвалы, расположенные в непосредственной близости, были внесены большие количества мышьяка, меди, свинца, цинка, железа (<https://webmineral.ru>).

## 2.4. Преимущества и недостатки разработки техногенных месторождений.

Благоприятные факторы для разработки техногенных месторождений делятся на три класса:

- Экологический – связан с уменьшением негативного влияния на окружающую среду.



- Экономический – связан с минимизацией издержек на добычу, разработку и утилизацию ресурсов.

- Социальный – связан с созданием новых мест для рабочих.

Вовлечение в переработку техногенного сырья обеспечивает:

1. замедление темпа роста добычи ископаемых;
2. торможение подорожания минерального сырья;
3. сдерживание истощения минеральных ресурсов в недрах;
4. уменьшение затрат на поиск и разведку месторождений;
5. получение дохода от реализации дополнительной продукции;
6. создание дешёвых стройматериалов (песок, щебень, гравий, цемент и т.д.), производство материалов из шлаков (брусчатка, тубинги, плитки, бордюрный камень и т.д.), стеклокерамических изделий, минеральных добавок для улучшения почв, удобрений для сельского хозяйства и др;
7. увеличение эффективности производства за счет переработки уже извлеченного из недр сырья;
8. повышение условий труда, так как извлеченные ресурсы находятся не глубоко в недрах, а на поверхности вблизи месторождений;
9. освобождение и рекультивацию занимаемых земель, пригодных для хозяйственного использования;
10. уничтожение источников загрязнения природной среды, при этом улучшая экологическую обстановку;
11. понижение расходов на размещение и содержание минеральных отходов и затрат на рекультивацию.

Все причины указывают на важность и актуальность обогащения и утилизации отходов отраслей промышленности (металлургической, топливно-энергетической, горнорудной и химической). Техногенные месторождения предприятий цветной металлургии являются сейчас наиболее перспективными и привлекательными для освоения, учитывая их высокое содержание ценных металлов, например, Y, Sr, Zr, Ga, V, потребление которых растет с каждым годом, и невысокую себестоимость их извлечения из шлаковых отвалов по сравнению с обычными разведками и добычей.

Несмотря на преобладающие достоинства создания техногенных месторождений из отвалов и хвостохранилищ, существует ряд препятствий к осуществлению. Одним из главных затруднений является неизвестные закономерности пространственного размещения веществ, содержащихся в отвалах – во время отработки залежей может увеличиться объем выбросов в атмосферу и водную среду, а также увеличиться площадь

деградированных земель. Учитывая это, необходимы геологоразведочные работы для определения оптимальных схем переработки месторождения.

Сочетание техногенных факторов и природных факторов (залегание сыпучего материала, поступление воды в разведочные выработки, неровные формы рельефа, мозаичное распределение глинистых отложений и участков с различной плотностью, расслоение и др.) усиливает неопределенность в отношении точности результатов для техногенных россыпей в сравнении с неоткрытыми месторождениями (Talgamer, 2017).

При оценке возможности вторичной эксплуатации добытого сырья необходимо также учитывать издержки, связанные с извлечением, транспортировкой, обогащением и переработкой минеральной массы, а также производство получаемой продукции – при неправильной геологической разведке затраты на добычу полезных ископаемых из отвалов может совпадать или превышать традиционную разведку месторождений.

### **3. Физико-географическое описание.**

#### **3.1. Характеристика географического положения р. Карелии.**

Республика Карелия расположена на северо-западе России, входит в состав Северного экономического района Российской Федерации. Площадь равняется 180,5 тыс. кв. км (1,06% территории РФ) с учетом акваторий моря и озер, протяженность территории республики с севера на юг достигает 660 км, с запада на восток – 424 км (Республика Карелия...,2016).

Территория республики характеризуется отличным географическим и экономическим положением, так как рядом расположены индустриальные районы России и Европы, имеются развитая транспортная и водно-транспортная системы с Балтийскими странами и близлежащими крупными городами (Санкт-Петербург, Мурманск), на территории республики находятся огромные запасы природных ресурсов.

Территория района проведения исследований для дипломной работы расположена в юго-западной Карелии – Ладожской Карелии. Северное Прилажье – это регион на северном побережье Ладожского озера, ограниченный на западе границей с Ленинградской областью, на севере – границей с Финляндией, на востоке – условной российско-финляндской границей.

В черте города Питкяранта, который находится в 200 км к западу от Петрозаводска и в 200 км к северо-востоку от Санкт-Петербурга, располагаются отработанные месторождения полиметаллов, в настоящее время представляющие собой отвалы металлургического производства.

Добыча полезных ископаемых в Питкярантском районе велась с 1814 года – проходила добыча Sn, Fe, Cu, содержание Cu могло достигать 12%. В целом, вся добыча минеральных ресурсов относилась к старому рудному полю Питкярантского месторождения. Располагавшиеся ранее шахты в г. Питкяранта оставили шлакоотвал на территории города, на подстилающие породы в городе производились вывозы золы, содержащей значительный процент меди, появляющейся в процессе обработки мрамора. Сейчас шлакоотвал расположен на двух участках (рисунок 3).



Рисунок 3. Общий вид участков и прилегающих территорий (Google карты, 2021)

Первый отвал расположен на берегу Питкярантского залива Ладожского озера в 400 метрах южнее здания вокзала Питкяранты. Его размеры составляют около 140 • 250 метров, объем залежей не менее  $3,5 \times 10^5 \text{ м}^3$ , масса составляет 1 млн. тонн, а мощность от 0,3 до 9 метров. Дневная поверхность отвала обнажена, уклон рельефа направлен в сторону береговой линии Ладожского озера, соответственно, все компоненты отвала, в том числе и экологически опасные, с метеорными водами поступают в Ладогу. Шлаки представляют собой рыхлую средне- и мелкозернистую массу бурого, коричневого и светло-коричневого цветов (данные, предоставленные И. И. Подлипским).

Вторая часть отвала, более молодая, расположена между Сортавальским шоссе и путями ж/д. станции г. Питкяранта. Его форма имеет неправильное тело, размеры 55 • 30 метров, а видимая мощность от 0 до 4 метров (данные, предоставленные И. И. Подлипским).

Расстояние между отвалами составляет 500 метров.

Расположение отвалов в центре г. Питкяранта на берегу Ладожского озера обуславливают особую важность его изучения, необходимо принять меры по улучшению санитарно-гигиенической обстановки и снижению отрицательного воздействия на окружающую среду. С учетом расположения близости жилых зданий, Ладожского озера, шлакоотвал является опасным источником загрязнения водной среды и почвы

потенциально опасными химическими элементами, которые при попадании в живые организмы могут отрицательно влиять на здоровье и жизнь (рисунок 4).



Рисунок 4. Иллюстрация части шлакового отвала (данные И. И. Подлипского)

### **3.2. Рельеф.**

Формирование рельефа Карелии происходило в течение длительного периода континентального развития в условиях устойчивого поднятия и сплошного распространения кристаллических пород. Интенсивные денудационные процессы протекали здесь совместно с процессами тектоническими, выразившимися в образовании разломов, внедрении интрузий и вертикальных колебательных движениях, а продукты разрушения уносились за пределы щита. Следствием этого явилось формирование поверхности выравнивания и господство в регионе денудационно-тектонического, структурно-денудационного и денудационного рельефа, представленного плосковерхими горными массивами, холмогорьями, невысокими грядами, плато, низменными цокольными равнинами (<https://studbooks.net>).

Превышения над всей территорией связаны с разломами, которые их окружают, а также большой устойчивостью к выветриванию и другим разрушающим процессам. Сами превышения являются горстами, испытывающими поднятия локального характера по настоящее время

Разбитые разломами и приподнятые денудационные поверхности были преобразованы деятельностью ледника, зародившегося на этой территории, в четвертичное время. В послеледниковое время происходит изостатический подъем территории (<https://studbooks.net>).

В Карелии, как подчеркивает М.В. Карандеева, прекрасно выражена связь рельефа с коренными породами (Карандеева, 1957). Это прослеживается в различии рельефа над гранитами и гнейсами архея и рельефа над кварцитами и зеленокаменными породами протерозоя.

Северное Приладожье характеризуется специфическими чертами рельефа, отличающими его от всех других районов Республики Карелия. Абсолютные отметки в районе северного Приладожья равномерно увеличиваются с юго-востока на северо-запад и север, от 5 м у Ладожского озера до 150-200 м у оз. Янисъярви (Зиангирова, 2016).

Питкярантский район отличается разнообразными ландшафтами природы, рельеф имеет расчлененный характер благодаря частой смене гряд, каньонов и холмов узкими глубокими понижениями – здесь повсеместно распространены частые заливы-шхеры с сетью островов, мысов, проливов; следы деятельности ледника: камы и озы, бараньи лбы, сельги; нередко песчаные пляжи, дюны; долинами рек часто являются каньоны.

Пересечённость местности не очень большая (до 60-80 м), самая высокая точка региона – гора Пётсёвара к Северу от Сортавалы имеет высоту 187 метров.

Преобладает северо-западная ориентировка форм рельефа, сменяющаяся на участке между озерами Ладожским и Янисъярви широтной, реже – северо-восточной, что связано с направлением основных геологических структур (Зиангирова, 2016).

### **3.3. Геологическое строение.**

Северное Приладожье располагается на юге Балтийского кристаллического щита, в геологическом строении которого принимают участие мощные толщи архея (лопий) и протерозоя (карелий). По возрасту слагающих пород и по времени основных тектонических движений изучаемый регион может считаться древнейшим ядром Балтийского щита (Зиангирова, 2016).

Толщи архейского возраста представлены гнейсами и гранитами с сильным дислоцированием и метаморфизацией и возрастом более 2800 млн лет, эти породы являются фундаментом для нижнепротерозойских образований. Лопий подразделяется на три эратемы – верхнюю (неоархей), среднюю и нижнюю (мезоархей).

Карелий представлен двумя эратемами – нижнекарельской и верхнекарельской

возрастом до 200 млн. лет. Протерозойские отложения более разнообразны по составу, чем архейские – они представлены кварцитами, кристаллическими сланцами, мраморами, гнейсами, переслаивающимися с зеленокаменными породами, песчаниками. В структурном плане преобладают приразломные синклинальные структуры, синклинали и мульдообразные прогибы (рисунок 5).

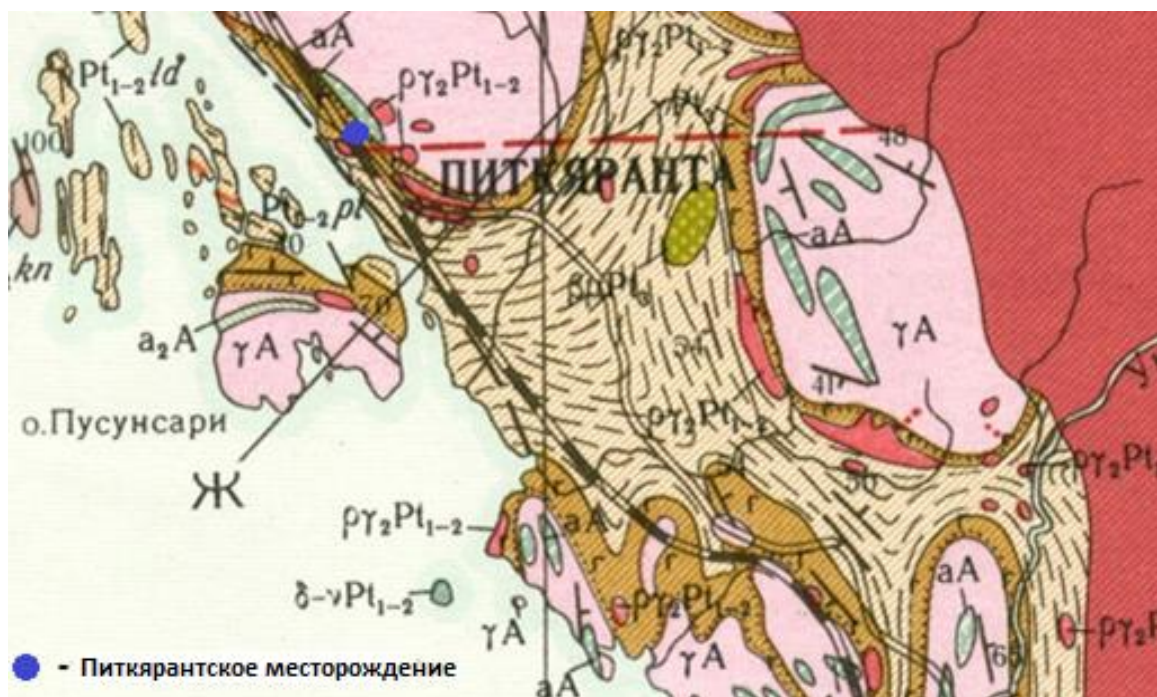


Рисунок 5. Геологическая карта исследуемого района (Зиангирова, 2016)

Стратифицированные породы акватории Ладожского озера относятся к среднему, верхнему рифею и венду.

Среди магматических образований на территории района выделяют вулканогенные породы, мигматиты и гранитизированные породы зон ультраметаморфизма, интрузивные комплексы основного и кислого состава.

Породы вулканического происхождения представлены амфиболитами питкярантской свиты. Образование этих пород связано с доладожской эпохой магматизма (Зиангирова, 2016).

Рудные месторождения Питкяранты связаны со скарнами, образовавшимися из мраморов питкярантской свиты сортавальской вулканогенной серии. В результате вулканической деятельности 2.5-2 млрд лет назад образовалась толща базальтовых лав и туфов, переслаивающихся с продуктами их водно-газового разрушения – карбонатными и кремнистыми отложениями. Позднее базальты преобразовались в амфиболиты и

амфиболовые сланцы, карбонатные отложения – в мраморы (Рощин, 2012-2017).

Рудоносные скарны образовались при внедрении в эту толщу гранитной магмы в начальной фазе формирования Салминского массива гранитов-рапакиви примерно 1.5 млрд лет назад. Несколько позднее в тех же зонах контакта формировались грейзены, также рудоносные. В результате горообразовательных процессов пласты пород пришли в крутонаклонное и даже вертикальное положение, соответственно рудные залежи имеют весьма крутое падение (Рощин, 2012-2017).

В пределах питкьярантской структуры исследователями выделяется несколько локальных рудных полей: Старое, Новое, Хопунвара, Люпикко, Хепоселька и Укса. Питкьярантское месторождение, которое включает рудники XVII века, относится к Койринойско-Питкьярантскому куполу гранито-гнейсов, а точнее к его юго-западному (Старое рудное поле) и юго-восточному (Новое рудное поле) обрамлению.

Общая протяженность скарновой пластообразной залежи на участке Старого рудного поля составляет 2,5 км при мощности 0,5-12 м. По простиранию кулисообразно-расположенные рудные тела имеют протяженность 75-170 м, а по падению 75-110 м, мощность 1-3,6 м. Некоторые рудные тела полностью отработаны до глубины 100-170 м. Новое рудное поле объединяет две скарновые залежи длиной по простиранию до 1100 м, мощностью 2-25 м. До глубины 25-35 м руды отработаны полностью (URL: <https://iip-eco.ru/>).

### **3.4. Тектоника.**

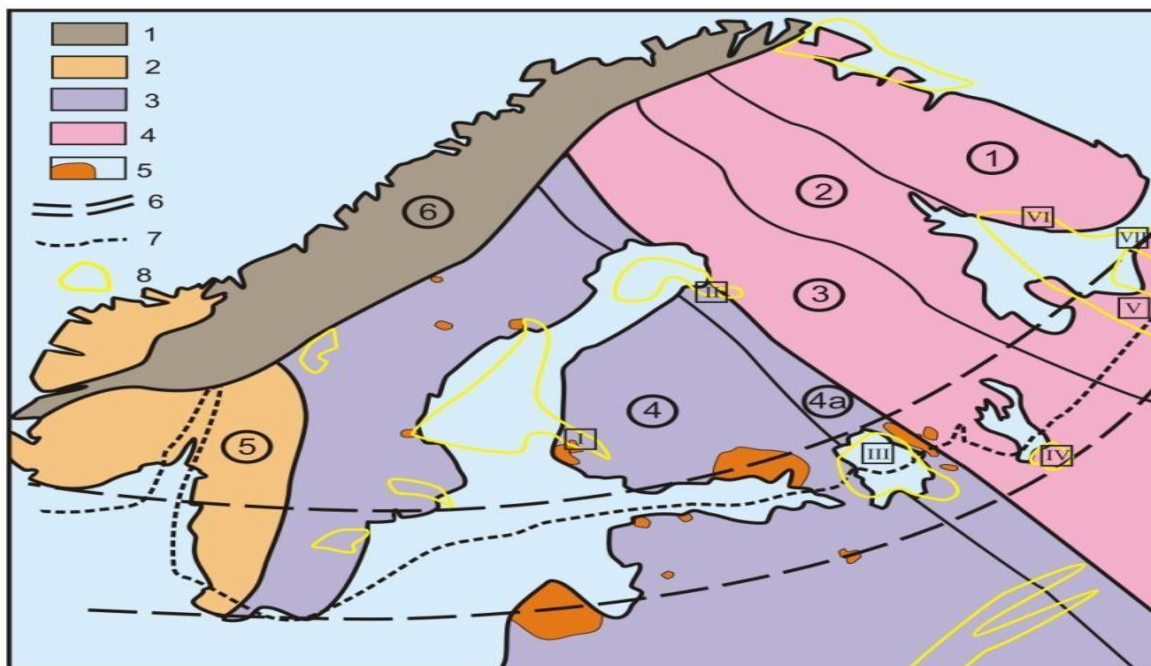
Почти вся территория республики лежит в пределах восточной части Балтийского кристаллического щита и ее поверхность представляет собой холмистую равнину с ярко выраженными следами древнего оледенения, где чередуются возвышенности и низменности, гранитные скалы и котловины. Хребет Манселья и Западно-Карельская возвышенность, расположенные на западе и северо-западе Карелии, переходят в Прибеломорскую, Олонецкую, Водлинскую возвышенности, прилегающие к Ладожскому и Онежскому озерам и Белому морю, берега которых сильно изрезаны и имеют много заливов и бухт (URL: <https://studbooks.net/>).

Северное Приладожье располагается на юго-западной оконечности Балтийского щита, в пределах которого выделяются две основных мегазоны, вытянутых с северо-запада на юго-восток: Беломорский мегантиклинорий и Карельский мегасинклиний. В пределах которых располагаются три крупных блока: Карело-Кольский, Свекофеннский и Норвежский.



На востоке щита расположен Карело-Кольский блок, сложенный гранитоидами раннеархейского возраста, зеленокаменными поясами позднеархейского возраста и раннепротерозойскими прогибами вулканогенно-осадочных пород. Западнее находится Свеккофенский геоблок, образованный структурами подвижного пояса раннего протерозоя. На крайнем западе щита выделяется Норвежский блок, который сложен породами верхнего протерозоя (рисунок 6).

Рисунок 6. Схема тектонического строения Балтийского щита (Зиангирова, 2016)



1 – Область палеозойского надвига; 6 – каледониды; 2 – Область верхнепротерозойского крастогенеза; (5) – Дальсландский мегаблок; 3 – Область нижнепротерозойского крастогенеза; (4) – Ладожско-Ботнический мегаблок, (4a) – Раахе-Ладожская зона; 4 – Области архейского крастогенеза, мегаблоки: (1) – Кольский, (2) – Беломорский, (3) – Карельский; 5 – Нижнерифейские массивы формации гранитов–рапакиви; 6 – Нижнерифейские массивы формации гранитов–рапакиви; 7 – Граница распространения платформенных отложений; 8 – Бассейны рифейской седиментации.

### 3.5. Климат.

Карелия расположена на крайнем северо-западе России, что определяет ее своеобразный климат – холодные воздушные массы с Арктики, небольшая величина солнечной радиации, влияние Нордкапского течения и Атлантического океана, из-за которых происходит увлажнение и смягчение климата.

Характерной особенностью Карелии, как и Севера вообще, являются изменения в продолжительности светового дня. Самым коротким он бывает в декабре – 6 часов на юге, 4 часа в Приполярье. С середины января день интенсивно нарастает и к июню-июлю солнце светит почти круглосуточно, благодаря чему Карелия получает летом практически столько же солнечного тепла, как и средние широты России (Республика Карелия...,2016).

Самым благоприятным районом в Карелии считается Питкярансткий район, как и Северное Приладожье в целом, из-за смягчающего влияния Ладожского озера на прилегающий регион.

В летнее и зимнее время над Баренцевым морем проходят арктические циклоны, а над Приладожьем распространяются воздушные массы западно-восточного переноса. Циклональное прохождение воздушных масс зимой приносит повышение влажности (около 80 %), большую пасмурность, оттепели, летом – обильные осадки и понижение температуры воздуха.

Зимой в Приладожье обычно наблюдается прохождение циклона, выпадающих осадков гораздо больше, чем максимально возможное испарение, из-за чего территория характеризуется избыточностью увлаженностью и обводненностью. Весной и летом погода сменяется с антициклоном, при этом количество осадков значительно уменьшается.

В регионе исследования наиболее холодные месяцы – январь и февраль (-9,9°C, -9,3°C соответственно). Самым теплым является июль, среднемесячная температура которого составляет +16-17 градусов. Относительная годовая влажность воздуха – 79,3 %, сумма осадков за год в среднем 500-700 мм, снежный покров лежит на территории около пяти месяцев в году, основным направлением ветра является юго-западный (18%), средняя скорость – 3,0 м/с (URL: <https://studbooks.net/>).

### **3.6. Гидрогеология.**

Карелия богата поверхностными водами. Рисунок гидрографической сети Карелии определяется тектоническими и геоморфологическими особенностями территории. На значительной поверхности территории Карелии реки текут с северо-запада на юго-восток, подчиняясь основным тектоническим разломам. Такую же ориентировку имеют и озера.

На территории республики очень много озер – более 170 тыс. Общая заозеренность территории приближается к 10%, их обилию способствуют как климатические условия, так и большое количество котловин ледникового и тектонического происхождения. В пределах Питкяранского района также находится большое количество озер. Их северо-западное простирание связано с неоднократными оледенениями в течение десяти тысяч лет. Здесь находится крупнейшее озеро Европы – Ладожское (17,7 тыс. км<sup>2</sup>). Приближается к 10 тыс.

км<sup>2</sup> площадь Онежского озера (9,7 тыс. км<sup>2</sup>), являющиеся огромными хранилищами пресной воды, из менее крупных озер стоит выделить озеро Янисъярви, расположенное севернее района проведения работ (Зиангирова, 2016).

Озера в Карелии связаны между собой короткими и порожистыми реками, протекающими, в основном, с севера на юг. Вместе они образуют сложные озерно-речные системы – специфическую черту природы данного региона. Здесь насчитывается около 40 тыс. рек общей протяженностью не менее 83 тыс. км. Для рек Карелии типична низкая жесткость, малая минерализация, высокая степень кислородного насыщения некоторые реки имеют гуминовую окраску в связи с высоким содержанием железа, в их питании основная роль принадлежит талым снеговым водам (40-45%), около 35% дают дождевые воды, роль грунтового питания ниже (20-25%). Самыми крупными реками района являются Янисйоки и Кулисмайоки. Нередко встречаются водопады, самыми известными из них являются Белые Мосты (Юоканкоски) на р. Кулисмайоки (19 м) и Койриноя (5 м) ([URL: https://studbooks.net/](https://studbooks.net/)).

Хотя рельеф Карелии достаточно пересеченный, широко распространены болота, отчасти покрытые мелколесьем. Они распространены не только в понижениях и на ровных поверхностях, но и на пологих склонах, где можно наблюдать слабое течение воды (сфагновые, кустарниковые, лесные и др).

В пределах изучаемого района подземные воды представляют собой единый водоносный горизонт, который по условиям циркуляции вод и степени обводнённости можно подразделить на два яруса. При этом один из них приурочен к четвертичным отложениям, второй – к трещиноватой зоне в кристаллических породах. В виду отсутствия водоупора между четвертичными и коренными породами воды обоих ярусов смешиваются.

Водоносный горизонт в четвертичных отложениях залегает непосредственно на трещиноватых коренных породах. Мощность водоносного слоя в рыхлых отложениях колеблется от 0,5 до 6 м и на отдельных участках, увеличивается до 15 м. Воды четвертичных отложений безнапорные, со свободной поверхностью, запасы их невелики, и основное пополнение происходит за счет атмосферных осадков. Глубина залегания подземных вод 0,5-5 м, на возвышенных участках достигая 10-12 м. В коренных породах она находится в прямой зависимости от глубины и степени трещиноватости.

Водопроявления в кристаллических породах малочисленны. Обводненность коренных пород в основном, приурочена к трещинным зонам. В гранитах-рапакиви глубина трещин колеблется от 5 до 10 м. Питание трещинных вод в породах осуществляется за счет атмосферных осадков или водоносных горизонтов вышележащих рыхлых отложений.

### 3.7. Почвенный покров.

В Карелии почвы характеризуются большой пестротой и неоднородностью вследствие различия воздействия на почву антропогенной деятельности, характера рельефа территории, степени выветривания, состава материнских и подстилающих пород и др. (рисунок 7).

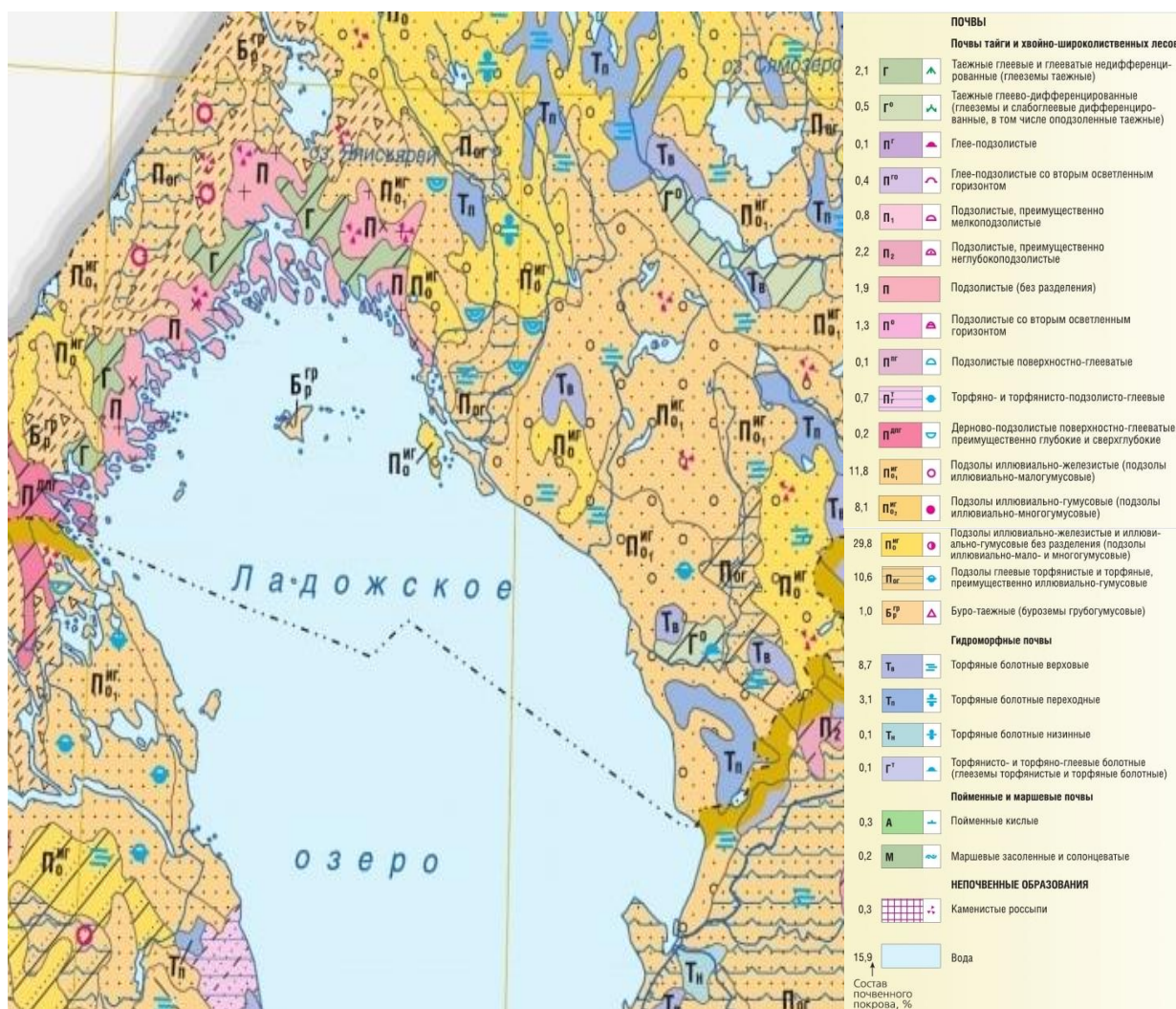


Рисунок 7. Почвенный покров изучаемой территории (URL: <https://soil-db.ru/>)

На юге Карелии почвообразование охватывает толщу породы в 60–85 см. Почвообразующие породы представлены в основном рыхлыми четвертичными породами, среди которых суглинки, супеси, моренные пески, пески и глины озерного происхождения, песчано-галечные наносы водно-ледникового происхождения. На выходах коренных пород наблюдается развитие щебнистых почв с процессами оподзоливания (URL: <https://studbooks.net>).

Независимо от типов растительности процесс почвообразования идет по типу поверхностных подзолов. Здесь, кроме подзолов, распространены сильно и среднеподзолистые почвы, а также дерново-подзолистые. У данных почв выражен перегнойно-аккумулятивный горизонт (URL: <https://studbooks.net>).

Почвенный покров представлен в основном подзолистыми железистыми и поперечно-подзолистыми почвам на песках в сочетании с болотными торфяными, также распространены грубогумусные буроземы. Основной ценностью почв Карелии является их способность обеспечивать высокое разнообразие лесных экосистем (URL: <https://studbooks.net>).

Для хозяйственных целей, например, под распашку, эксплуатируют наиболее плодородные почвы, исключая слабокислотные и заболоченные участки.

На территории Питкярантского района представлены три вида почв:

1. Техногенные почвы – почвы, измененные коренным образом вследствие антропогенного воздействия (например, сформированные на отвалах гранитной крошки);
2. Антропогенные почвы – почвы, измененные человеком при внесении удобрений, распашке, мелиорации или орошении, образовавшиеся на заброшенных сельскохозяйственных угодьях;
3. Природные почвы – почвы, сформировавшиеся в природных экосистемах и сохранившие ненарушенную совокупность природных генетических горизонтов.

### **3.8. Растительный покров**

В растительном покрове региона преобладают смешанные и хвойные леса. Ими покрыто около 85% или 148 000 км<sup>2</sup> территории и почти треть поверхности Кольского полуострова (URL: <https://studbooks.net>).

Преобладают хвойные леса, к северу сосновые, южнее и сосновые, и еловые. Основные хвойные породы: сосна обыкновенная и ель обыкновенная. Сосновые леса занимают по этой причине 2/3 лесопокрытой площади Карелии и около 1/2 на Кольском полуострове, редкостойные еловые леса Кольского полуострова и севера Карелии отличаются бедностью видового состава и наличием в наземном покрове болотных растений – багульник, морошка, голубика.

На юге Карелии, по обе стороны от Онежского озера и в северном Приладожье преобладают еловые леса с представителями широколиственных лесов — берёза, осина, ольха, вяз, клён, липа.

В горах Кольского полуострова в распределении растительности выражена высотная поясность. Леса сосновые, еловые, березовые занимают нижние склоны горных массивов,

они сменяются березовым лесом с мохово-лишайниковым и травяным покровом, среди которого разбросаны отдельные невысокие ели, с высоты 500-600 м начинаются кустарниковые заросли из карликовой березки и полярных ив, далее на высоте 600-700 м находится пояс горных кустарничково-лишайниковых тундр. Вершины гор заняты голыми каменистыми россыпями – каменистой тундрой или гольцовой пустыней (URL: <https://studbooks.net>).

## 4. Основные этапы исследования техногенных месторождений.

### 4.1. Полевые исследования и аппаратурно-методическое обеспечение аналитических исследований ТМ.

Полевые работы проводились в соответствии с системой нормативных документов в строительстве «Инженерно-Экологические Изыскания Для Строительства» (СП 11-102-97). Для инженерно-экологических изысканий было принято использовать два разных метода исследования, так как обе части отвала схожи по составу и строению.

Перед производством работ на местности были уточнены границы участка, на которых предполагалось проводить опробование, предварительно рассмотрены ландшафтные обстановки и особенности отбора проб.

На отвале на побережье Ладожского озера была разработана схема опробования, где на шлакоотвале и прилегающих территориях было проведено эколого-геохимическое опробование образцов почвы, большая часть которых насыщена шлаками металлургического производства.

Пробы почвы были отобраны непосредственно с части отвала на берегу озера с глубины от 0 до 50 см методом конверта на пробных площадках размером  $10 \times 10$  м<sup>2</sup> в соответствии с стандартом (ГОСТ Р 58595-2019). Пробы отбирались в полиэтиленовые пакеты, масса отбираемых проб составляла в среднем 1 кг. Далее из единичных проб с каждой площадки была составлена одна объединенная, общее количество отобранных проб почво-грунтов равняется 40, после усреднения – 8 (рисунок 8). После перемешивания, пробы измельчались для дальнейшего исследования.



Рисунок 8. Схема площадок для отбора проб (Yandex карты, 2021)

На части отвала, расположенном возле железнодорожных путей студентами кафедры экологической геологии на полевой практике под руководством И. И. Подлипского в 2015 году была определена точка отбора проб, дальнейший анализ будет проводиться с учетом этих данных. Проба отбиралась с помощью проходки шурфа и мотобура (рисунок 9).



Рисунок 9. Шурф 11-1 (данные, предоставленные И. И. Подлипским)

Для повышения точности получаемых результатов, повысить скорость анализа, улучшения воспроизводимости результатов, перед анализом пробы прошли подготовку, которая состоит из разбора проб, квартования, просушивания, дробления, просеивания. Подготовка проб осуществлялась при помощи лабораторной мельницы, ступки, лабораторного сита, сушильного шкафа.

Далее во всех почвенных образцах были определены основные почвенно-диагностические показатели по стандартным методикам. Образцы были проанализированы в лаборатории на приборе AP-104 с помощью рентгенофлуоресцентного метода (РСФА) и определены содержания тяжелых металлов (As, Pb, Zn, Cu) согласно методите (ГОСТ 33850-2016).

Рентгенофлуоресцентный метод анализа основан на возбуждении атомов рентгеновским излучением с последующей регистрацией, преимущества данного метода обеспечивает достижение достаточно низких пределов обнаружения содержаний элементов (таблица 1).



Таблица 1

Пределы обнаружения элементов (по экспериментальным данным, %)  
(<http://www.servicelab.ru/>)

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Cr, Mn, Fe         | 0,0100 |
| Sr                 | 0,0050 |
| Co, Cu, Mo, Pb, Bi | 0,0020 |
| Ni, Ta, W          | 0,0010 |
| Se, As, Zn         | 0,0008 |
| Ge, Ga             | 0,0005 |
| Au, Pt             | 0,0005 |

Время измерения каждой пробы – 80 секунд. В качестве контрольных образцов для подготовки данных и текущих измерений использовались: образец Z («нулевой» образец) и образец SiO<sub>2</sub>.

Пробы измеряются в циклической последовательности: одно измерение Z, два измерения SiO<sub>2</sub>, измерения кювет с пробами и далее по кругу, работы заканчивались измерениями контрольных образцов Z и SiO<sub>2</sub>. Для снижения влияния неоднородности материала проб, каждое измерение производилось в режиме автоматического вращения кюветы.

Дополнительно пробы с поверхностной части шлакоотвала на берегу озера были проанализированы ИСП-спектрометром ICPE-9000, в пробах определены содержание валовых форм химических элементов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой согласно методике (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98).

Данный метод является быстрым и надежным качественным и количественным анализом с помощью длин волн и спектральных влияний для всех элементов, также он определяет сопутствующие элементов. Методика позволяет проводить измерения содержания элементов в диапазонах, представленных в таблице 2.

Таблица 2

Диапазоны нахождения элементов методом ИСП-АЭС (ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98)

| Элемент  | Предел обнаружения от, мг/кг | Предел обнаружения до, мг/кг |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Th, U, Ce, La, Cd, Be  | 0,05                         | 100000                       |
| Ag, Se, Pb, Rb, Sn, Sc, Sb, Tl, Te, Cr, Cs, Ni, As, Mo, Cu, Li, Co, Y, W, Bi, Va | 0,1                          | 100000                       |
| B  | 1                            | 100000                       |
| Ba   | 5                            | 100000                       |
| Sr, Mn   | 0,1                          | 500000                       |
| Ti, P, Zn, Na, Mg, K, Ca, Fe, Al   | 5                            | 500000                       |
| S  | 50                           | 500000                       |

Полученные содержания As, Cu, Zn и Pb в пробах были сравнены с рассчитанным геохимическим фоном для всего района исследований (С<sub>фи</sub>), так, по результатам проведённых исследований можно определить категорию опасности загрязнения компонентов среды для данного участка.

Данные концентрации были рассчитаны по формуле:

$$K = \frac{C_i}{C_{\text{фи}}} \quad (1),$$

где C<sub>i</sub>- содержание каждого элемента в пробе, С<sub>фи</sub>- фоновое содержание элемента в почвах (таблица 3).

Таблица 3

Средние фоновые значения элементов в изучаемом районе (Данные И. И. Подлипского)

| Элементы | As | Cu | Zn | Pb |
|----------|----|----|----|----|
| Сф, г/т  | 10 | 20 | 57 | 37 |

Региональный геохимический фон зависит от фоновых концентраций тяжелых металлов, которые зависят от состава материнской породы, интенсивности и направлений миграции химических элементов, наличие в непосредственной близости техногенных объектов, в частности, отвалов горных выработок.

За региональное фоновое значение по изучаемому району используются обобщенные результаты измерений на территориях горы Пюттюмяки, мысе Ристиниеми и Киттелях, то есть территории района с минимальной загрязненностью почвенного покрова. Данный выбор обусловлен низким содержанием тяжелых металлов в почвах данного региона и достаточной удаленностью местности от потенциальных источников загрязнения. При расчете коэффициента концентрации в шлаках, за фон принимали фоновые значения почв, так как на самом шлакоотвале развиваются новообразованные почвы (данные, предоставленные И. И. Подлипским).

#### **4.2. Методика и техника эколого-экономической оценки ТМ. Статистическая обработка данных и оценка экономической эффективности разработки шлакоотвала.**

Эколого-экономическая оценка природных ресурсов (объектов) представляет собой определение в стоимостном выражении их ценности в фиксированных социально-экономических условиях производства при заданных режимах природопользования и

экологических ограничениях на хозяйственную и иную деятельность (Садов, Наполов, 2014).

Эколого-экономической оценке подлежат ресурсы, находящиеся во всех оболочках Земли – водные, лесные, земельные, минерально-сырьевые, лечебно-оздоровительные и рекреационные, а также ресурсы животного мира, особо охраняемых природных территорий и др. Эколого-экономическая оценка производится в соответствии с законами Российской Федерации (Закон РФ «О недрах», 1992), (ФЗ «Об отходах...», 1998) и другими нормативными и методическими материалами (Приказ «об утверждении...», 2019).

Эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала подразделяется на три уровня государственного управления: федеральный, региональный, локальный (см. приложение 1). В целом оценка природных ресурсов производится с целью:

- эффективного управления природными ресурсами;
- учета стоимости природных ресурсов в составе экономических активов страны;
- обоснования стратегий, долгосрочных и среднесрочных планов социально-экономического развития РФ и ее субъектов;
- включения показателей эколого-экономической оценки природных ресурсов в систему социально-экономических отношений в обществе;
- решения всего комплекса вопросов, связанных с рациональным использованием природных ресурсов (Садов, Наполов, 2014).

Эколого-экономическая оценка всех природных ресурсов включает в себя: оценку их стоимости, оценку возможного ущерба от их изъятия и использования, оценка эффективности использования ресурсов, оценка решений по минимизации техногенного воздействия при освоении ресурсов (Садов, Наполов, 2014).

Сама оценка базируется на результатах геолого-химического анализа террикона, который содержит в себе исследования состава террикона с помощью аналитического анализа состава террикона.

1) В общем виде стоимость природного ресурса оценивается по величине дохода (или ренты) от его эксплуатации. Формулы, представленные данные, взяты из книги по экономике природопользования (Баранчик, Касперович, 2010):

$$D = N * Qt \quad (2),$$

где  $D$  – доход от эксплуатации ресурса, руб;

$N$  – чистая стоимость единицы ресурс, руб;;

$Qt$  – объем добычи единицы ресурса (объем запасов полезных компонентов).

Чистая стоимость единицы ресурса рассчитывается по формуле:

$$N = P - C \quad (3),$$

где  $P$  – цена продажи единицы ресурса, руб;

$C$  – издержки добычи единицы ресурса, руб.

Запасы полезных компонентов ( $Q_t$ ) в техногенных месторождениях оцениваются по формуле:

$$Q = S * M * \gamma = V * \gamma \quad (4),$$

где  $Q$  – общий запас руды;

$V$  – объем руды,  $m^3$ ;

$\gamma$  – объемный вес руды, является соотношением общей массы залежей и их объема,  $t/m^3$ ;

$$Q_t = \frac{C_{cp}}{100} * Q \quad (5),$$

где  $C_{cp}$  – среднее содержание металла, %.

2) Эколого-экономическая оценка ущерба, причиняемого окружающей среде, осуществляется по видам загрязнений: загрязнения атмосферного воздуха, загрязнения водоемов, загрязнения земель, загрязнения природы физическими факторами, определяется ущерб, наносимый биоресурсам. На сегодняшний день разработаны методики определения всех видов ущерба от загрязнения природной среды (Баранчик, Касперович, 2010).

Под экономическим ущербом ухудшения состояния окружающей среды устанавливается оценка количеству и качеству природных ресурсов при деградации, оценивается количество денежных средств за негативные изменения в результате загрязнения оболочек среды и последствия этих изменений.

Ущерб от ухудшения и разрушения почв и земель под воздействием антропогенных факторов выражается прежде всего в деградации почв и земель, загрязнении земель химическими веществами, захлавлении земель несанкционированными свалками, другими видами несанкционированного размещения отходов (Баранчик, Касперович).

Экономическая оценка величины ущерба от деградации почв и земель определяется по формуле (Баранчик, Касперович, 2010):

$$U_{зем} = H_c * S * K_{э} * K_{ос} \quad (6),$$

где  $N_c$  – норматив стоимости земель, тыс. руб./га (см. приложение 2);

$S$  – площадь почв и земель, деградировавших в отчетном периоде времени, га;

$K_3$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории (см. приложение 2);

$K_{oc}$  – коэффициент для особо охраняемых территорий (см. приложение 2).

Также есть необходимость в оценке уровня химического загрязнения посредством расчета суммарного показателя загрязнения  $Z_c$ , который характеризует степень химического загрязнения почв и грунтов обследуемых территорий вредными веществами различных классов опасности, он сопоставляет воздействие группы элементов на данный отвал. Суммарный показатель рассчитывается в соответствии с указаниями (МУ 2.1.7.730-99) по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1), \quad (7),$$

где  $n$  – количество элементов, используемых в расчете,  $K_c$  – коэффициент концентрации элементов.

Далее оценивается уровень загрязнения почв по суммарному показателю  $Z_c$  (таблица 4).

Таблица 4

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю  $Z_c$  (МУ 2.1.7.730-99)

| Категории загрязнения почв | Величина $Z_c$ |
|----------------------------|----------------|
| Допустимая                 | Менее 16       |
| Умеренно опасная           | 16-32          |
| Опасная                    | 32-128         |
| Чрезвычайно опасная        | Более 128      |

3) Абсолютная экономическая эффективность  $\Delta a$  комплексного использования сырья на основе переработки отходов производства будет представлять собой отношение суммы всех эффектов от использования отходов ко всей сумме капитальных вложений, вызвавших этот эффект (Мирзоева, Шогенова, 2013).

Промышленное значение освоения техногенного месторождения учитывается с помощью экономической эффективности его разработки, также учитывается потребность в этом виде сырья в национальной экономике, экологическая ситуация государства и социальное положение населения.

Для оценки промышленного значения содержания элементов по результатам проведенного анализа можно использовать минимальное промышленное содержание – Минимальное промышленное содержание полезного компонента – содержание, при котором ценность компонента покрывает затраты на эксплуатацию сырья, данный показатель является эталоном для оценки месторождений или отдельных частей (см. приложение 3. таблица 1).

Под экологической эффективностью понимается соотношение экологических результатов от внедрения природоохранных мероприятий и затрат на внедрение этих мероприятий.

Экологический результат – это снижение количества вредных веществ, поступающих в окружающую среду, их концентрации, увеличение количества и качества земельных и лесных ресурсов и т. п.

Системный подход к оценке вторичных минеральных ресурсов предполагает также учет последствий в смежных отраслях, которые образуются главным образом в геологоразведке и строительстве за счет экономии затрат, которые пришлось бы осуществлять при разведке природного месторождения и последующем строительстве рудника, в случае, если не осваивать техногенное месторождение (Блошенко, Поздняев, 2015).

С учетом методики оценки для определения рентабельности отработки техногенного объекта требуется его геологическое обследование (разведка); оно заключается в получении достоверных, точных и объективных данных о состоянии почвы и грунта участка, на котором планируется строительство или реконструкция.

На основании заключения экспертов будут приняты решения о возможности или невозможности строительства или проведения иных работ в соответствии с сводом правил (СП 11-1-5-97), комплексом стандартов (ГОСТ Р 55945-2014) в отношении разных видов геологических исследований грунта.

Если разведка объекта покажет, что промышленный интерес он представляет, недропользователь решает, стоит ли заниматься его освоением (т.е. переработкой отходов), сопоставляя будущие капитальные затраты и эксплуатационные расходы с размером предполагаемой прибыли от реализации продукции, полученной из отходов. Причем принимаются во внимание транспортная и налоговая составляющие в себестоимости продукции, а также динамика рыночных цен на такую продукцию (Блошенко, Поздняев, 2015).

Сейчас оценка техногенных ресурсов РФ в стоимостном выражении превышает 43,5 млрд. \$, что сопоставимо с величиной прогнозных ресурсов минерального сырья в недрах

(более 50 млрд. \$), и в 4 раза превышает стоимость разведанных ресурсов, не вовлеченных в эксплуатацию (Mineral commodity..., 2017).

Таким образом, можно сделать вывод, что грамотная эколого-экономическая оценка позволит предоставлять качественную информацию, о наносимом ущербе, а также информация для принятия верных решений по снижению негативного влияния на окружающую среду. Так же, эколого-экономическая оценка позволяет оценить экологическую обстановку региона, и принять своевременное решение, по снижению, а по возможности, предотвращения экологического ущерба природе.

### **4.3. Оценка эффективности разработки техногенных месторождений.**

Снижение ущерба окружающей среде от выделения и накопления минеральных отходов возможно путем снижения их образования, удаления, обезвреживания и утилизации (Умнов, 2017).

Наиболее значимые пути уменьшения масштабов накоплений минеральных отходов включают: рекультивацию отвалов и хвостохранилищ, использование отходов для закладки выработанного пространства, вторичное использование обедненного техногенного сырья, а также доизвлечение присутствующих в отходах полезных компонентов.

Рекультивация нарушенных отвалами и хвостохранилищами земель включает процессы выравнивания измененного ландшафта, нанесения на поверхность хранилищ плодородного слоя, высаживания растительности и т. д. Задача данных мероприятий – снижение нагрузки на окружающую среду, а также возврат (частично или полностью) изъятых земель в оборот (Умнов, 2017.) Рекультивация проходит в соответствии с общими правилами к рекультивации земель (ГОСТ 17.5.3.04-83).

Процесс регенерации участков с техногенными отложениями зависит от вида материала и от пораженной территории и условий окружающей среды (почвы, погоды и растительности). В целом, отложения с материалами гражданского строительства потребуют больше времени для разложения, чем отложения с органическими элементами. Даже при принятии некоторых рекультивационных и природоохранных зон удовлетворительное сохранение не всегда происходит, что делает экологическое планирование необходимым для развития экономической деятельности в соответствии с наличием экологических ресурсов.

Одним из рациональных путей уменьшения накоплений отходов является закладка выработанного пространства. Он позволяет снизить затраты на основное производство и расходы на рекультивационные мероприятия (Умнов, 2017).

Сохранение отходов обогащения в качестве техногенного сырья предусматривает возможность его использования в будущем. Эффективность сохранения складывается из эффективностей обращения с этим сырьем на отдельных стадиях прохождения его от отхода перерабатывающего производства до места складирования и возврата на перерабатывающее производство или на место непосредственного использования.

Для выбора оптимального научного решения по утилизации отходов необходимо иметь сведения о характеристике объекта, его физических, химических свойствах, технических возможностях технологий производства и экономической целесообразности с учетом экологии. В большинстве случаев за этим влечет разделение отходов на компоненты или придание определенного вида, обеспечивающего возможность переработки.

Доизвлечение полезных компонентов возможно при их содержании в промышленных количествах и зависит от наличия у предприятия соответствующих технологических мощностей, то есть оборудования. Это наиболее рациональный способ использования минеральных ресурсов, позволяющий получить наибольшую прибыль от производства продукции при улучшении состояния окружающей среды. При этом большую роль играет комплексность минерального сырья.

Обедненное техногенное сырье можно использовать для производства строительных материалов, химических удобрений, флюсов и других полезных продуктов. Это позволяет уменьшить накопление отходов, получив при этом дополнительную прибыль от реализации продукции.

Выбор технологии и технологического оборудования для разработки техногенных месторождений существенно отличается от выбора технологий разработки классических месторождений, которые достаточно хорошо изучены (Арипов, Решетняк, 2017).

Ввиду малого опыта освоения ТМ к настоящему времени и отсутствия оборудования целесообразно рассмотреть степень адаптации технологий разработки рудных и строительных карьеров к разработке хвостохранилищ.

А. В. Архипов считает, что так как необходимо подобрать технологию разработки техногенного сырья, то целесообразно учитывать условия, к которым необходимо адаптировать возможности технологии. В своей работе автор (Архипов, Решетняк, 2017) предложил 7 основных условий для выбора технологии разработки техногенных месторождений.

- 1) условия образования ТМ и строение залежи, вид сырья, его свойства;
- 2) климатические условия района нахождения ТМ;
- 3) условия применения, основные требуемые технические характеристики и параметры технологического оборудования:



Технологии переработки всевозможных видов отходов основываются на следующих методах:

- механические методы широко применяются при подготовке отходов: измельчении, агрегировании, сепарации и т.д.;

- гидродинамические методы используют для разделения смесей отходов и перемещения их в различных аппаратах. Эти методы часто сочетаются с тепловыми, механическими и физико-химическими процессами;

- тепловые процессы являются неотъемлемой частью многих способов переработки отходов и используются при их сжигании и пиролизе, при процессах с выделением и утилизацией тепла или необходимостью охлаждения отходов;

- диффузионные процессы лежат в основе способов утилизации отходов, при которых осуществляется перенос массы вещества путем дистилляции, сорбции, сушки, кристаллизации и других процессов;

- химические методы обработки используют при окислении и восстановлении отходов, переводе материала из одного физического состояния в другое, для изменения каких-либо характеристик веществ и т.д.;

- биохимические методы используют для утилизации отходов с помощью микроорганизмов. Это наиболее сложные процессы, и при их реализации используются и другие рассмотренные выше способы обработки отходов (Бобович, 1999).

4) производственная мощность горнодобывающего предприятия, время добычи и непрерывность работы;

5) условия транспортирования и хранения ТС перед переработкой;

6) экологичность и безопасность используемого оборудования.

7) вид использования сырья, элементов и параметров конструкции техногенного объекта.

В настоящее время накоплен значительный опыт применения залежей минерального сырья во многих отраслях, таких как дорожное строительство, металлургия, химическая промышленность, сельское хозяйство и др. Причем в каждой отрасли отдельно рассматриваются сферы применения пород террикона.

Добытое техногенное сырье может быть использовано в трех вариантах:

а) непосредственное использование без переработки – техногенное сырье используется как строительный материал (песок), для которого содержание полезных компонентов, химический и физический составы не являются определяющими свойствами. Добыча такого сырья может производиться гидравлическим способом, при котором горная порода отделяется от общего массива сильной струей воды и перемещается потоком воды

до места переработки или складирования. Промывка песков на промывных приборах и удаление хвостов осуществляются также водой.

б) использование с переработкой для изготовления строительных материалов, извлекаемое сырье идет на изготовление строительных материалов, панелей и т. п. Способом добычи может являться гидравлический способ с последующим обезвоживанием. На приемной станции сырье обезвоживают в две стадии - сначала механическими методами, затем термической сушкой.

в) использование с переработкой (обогащением) для извлечения содержащихся в нём полезных компонентов, так, техногенное сырье подвержено обогатительным процессам.

Цена на цветные металлы, в том числе медь, цинк, которая выросла после кризиса в 2008 году, позволяет понять о необходимости доизвлечения меди и попутных элементов, учитывая экономически выгодный и перспективный способ. Технологии переработки медных шлаков должны учитывать полную информацию об объекте, она может быть получена с помощью химико-аналитического и структурно-минералогического методов изучения шлака.

Переработка хвостов обогащения медно-никелевых руд комбинированными обогатительно-гидрометаллургическим методом. В этом случае хвосты классифицируют, песковая фракция после измельчения флотуруется и концентрат флотации подвергают выщелачиванию.

Флотация является на сегодняшний момент наименее затратным и наиболее простым методом доизвлечения ценных компонентов из шлаков. Результаты флотации хвостов текущего производства свидетельствуют о необходимости разработки новых реагентных и технологических режимов с учетом специфики свойств сульфидных минералов (Сабанова, 2016). В качестве собирателей при флотации сульфидов цинка, меди и свинца используют бутиловый ксантогенат, в качестве дополнительного – трансформаторное масло, пенообразователя – смесь эфиров полиэтиленгликолей. В результате флотации получают концентраты, которые содержат 26-28 % меди при извлечении 64 % от общего содержания, 46-47 % свинца при извлечении 77-83 %, 55-56 % цинка при извлечении 76-81 % (принцип работы Лениногорской ОФ) (Самылин, 2008).

На стадии выщелачивания концентрат подвергаются разделению с помощью ионов трехвалентного железа в качестве окислителя для выделения меди, урана, для осаждения никеля применяют раствор серной кислоты, для серебра и золота – цианид и раствор серной кислоты.

На основании моделирования предложена схема обогащения рудного материала из отвалов (рисунок 10), обеспечивающая высокую интенсивность процесса выщелачивания, выделение меди, свинца, цинка, осаждение драгоценных металлов, никелевых и урановых руд и образование сырья для строительства.

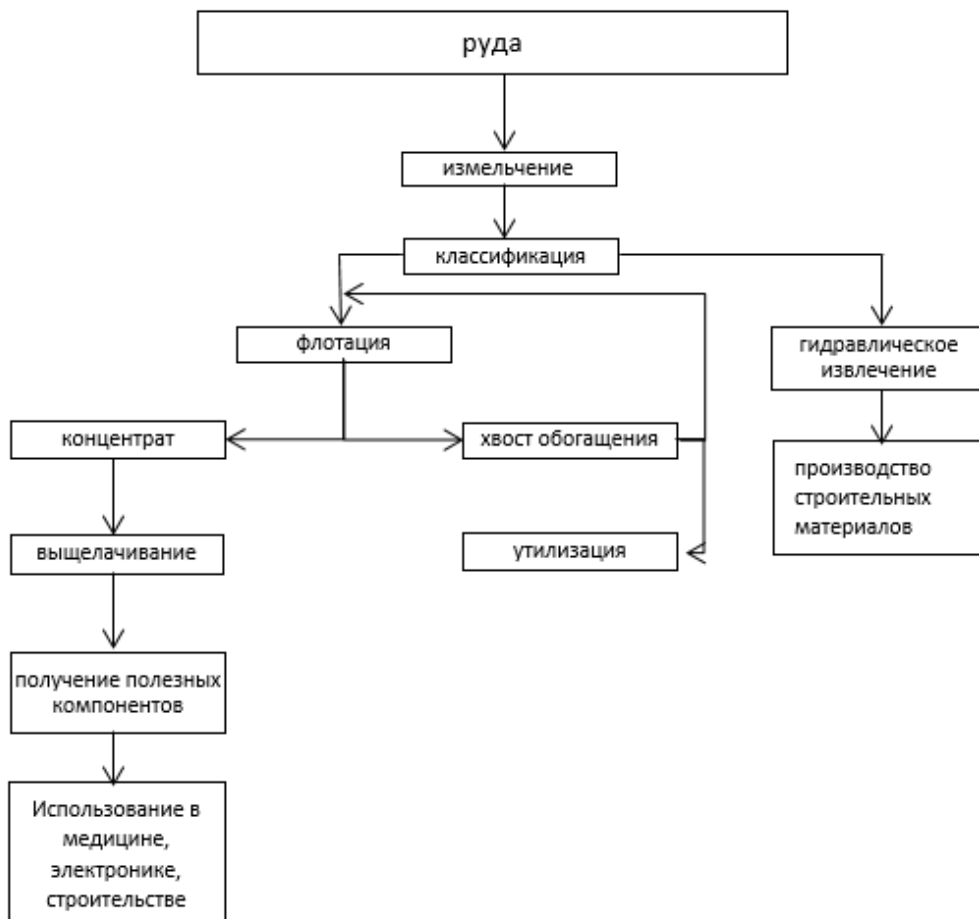


Рисунок 10. Комбинированная схема переработки сульфидных руд (создано автором)

Таким образом, твердые минеральные отходы, которые образовались на территории города Питкяранта, является проблемой в области экологии и экономики. Скопления по масштабам и содержанию могут представлять промышленную ценность, в этих целях в данной выпускной работе предложен подход к оценке и принятию решений по использованию шлакоотвала в качестве техногенного месторождения.

## 5. Результаты исследование и их обсуждение.

Исследуемые шлаки характеризуются сложным химическим составом, зависящего от состава компонентов, их соединений, длительности их нахождения в отвале. Данные о результатах анализа отобранных проб с шлакоотвала приведены в приложении 4.

Результаты, которые были получены с помощью мотобура характеризуются следующими показателями:

Средние значения концентраций цинка равняется 254 г/т, меди – 2012 г/т, свинца – 88 г/т, мышьяка – 327 г/т. Сравнивая результаты анализов с фоновыми значениями по формуле (1), можно отметить, что шлаки характеризуются следующими коэффициентами концентраций: по цинку – 9, мышьяку – 32, свинцу – 2, меди – 100.

Повышенное содержание мышьяка на шлаковых отвалах на изучаемом профиле может быть связано с близостью железной дороги, по которой перевозят продукты производства, так же имеются заболоченные понижения рельефа.

Медь активно аккумулируется почвой и шлаковыми отвалами, повышенное содержание цинка и меди может быть связано с близостью асфальтированной дороги и площадкой автошколы, составляющей частью которой является гранитная крошка.

Исходя из полученных данных, можно увидеть, что концентрации элементов второго (Cu) и первого (As, Zn, Pb) классов опасности по СанПиН превышает фоновые в несколько раз.

По результатам исследования буровой пробы составлен график распределения химических элементов по глубине (рисунок 11). Из построения видно, что распределение химических элементов по вертикали неравномерное – существует связь с вымыванием в нижележащие горизонты, но, в целом, концентрации элементов уменьшаются с глубиной.

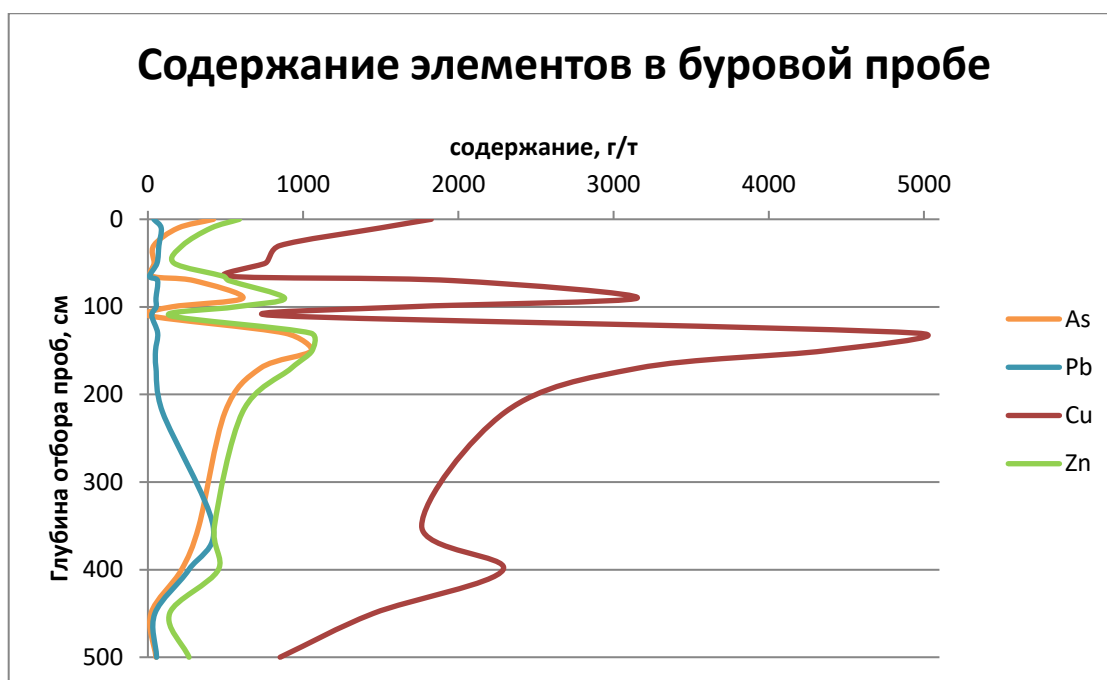


Рисунок 11. Содержание элементов в буровой пробе (составлено автором)

Результаты анализа проб из поверхностного слоя шлакового отвала у Ладожского озера:

Как следует из таблицы 2 приложения 4, состав шлакового отвала является поликомпонентным, содержание в достаточных количествах некоторых элементов определяет возможность разработки данного отвала в различных отраслях сферы промышленности.

Большое количество железа, алюминия, кремния определяется их основной ролью в составе минералов, находящихся в недрах данного района, среднее процентное содержание Fe составляет 48%, Al – 4%, Si – 10%.

Содержание меди варьируется в диапазоне от 836 г/т до 4013 г/т, данное содержание связано с высоким содержанием элемента в руде, добываемой на Питкярантском месторождении, процентное содержание составляет 0,541%, содержание цинка (0,199%) находится в концентрации почти в два раза меньше концентрации меди. Содержание свинца составляет 0,330% со средним значением 117 г/т. Сера присутствует в шлаках в количестве от 4582 до 6082 г/т,

Наблюдается содержание некоторых редких металлов, среди которых серебро, ванадий, титан, рубидий, никель, молибден. Данное содержание элементов может быть связано с выбросом попутно добываемых минералов с месторождения, а также с выбросом золы.

В связи со столь высокими содержаниями элементов, состояние территории можно определить как кризисное, отвал представляет собой образовавшееся техногенное месторождение, нуждающееся в скорейшей отработке горного шлама, который является опасным источником загрязнения прилегающих территорий.

Эколого-экономическая оценка ресурсов по полученным данным проводится по части отвала, находящегося на берегу Ладожского озера, так как на данном участке проводился полный анализ компонентов, входящих в состав.

1) Стоимость основных ресурсов, определяющихся по формуле (2):

$$D(\text{Cu}) = 176\,424 * \frac{2,86 \text{ т/м}^3 * 0,541\% * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 176\,424 \text{ р/т} * 5\,415 \text{ т} = 907\,701\,480 \text{ р.}$$

$$D(\text{Zn}) = 88\,060 * \frac{2,86 \text{ т/м}^3 * 0,199\% * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 88\,060 \text{ р/т} * 1\,992 \text{ т} = 175\,415\,520 \text{ р.}$$

$$D(\text{Pb}) = 90\,450 * \frac{2,86 \text{ т/м}^3 * 0,330\% * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 90\,450 \text{ р/т} * 3\,303 \text{ т} = 298\,756\,350 \text{ р.}$$

$$D(\text{Al}) = 112\,480 * \frac{4,494\% * 2,86 \text{ т/м}^3 * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 112\,480 \text{ р/т} * 44\,985 \text{ т} = 5\,059\,912\,800 \text{ р.}$$

$$D(\text{Fe}) = 4\,493 * \frac{48,060\% * 2,86 \text{ т/м}^3 * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 4\,493 \text{ р/т} * 481\,080 \text{ т} = 2\,161\,492\,440 \text{ р.}$$

$$D(\text{Ag}) = 24\,786\,845 * \frac{0,002\% * 2,86 \text{ т/м}^3 * 350\,000 \text{ м}^3}{100\%} = 24\,786\,845 \text{ р/т} * 20 \text{ т} = 495\,736\,900 \text{ р.}$$

Курс цен на май 2021 года, курс доллара = 74 рубля.

2) Экономическая оценка величины ущерба от деградации почв и земель определяется по формуле (6):

$$U_{\text{зем}} = N_c * S * K_{\text{э}} * K_{\text{ос}} = 187 \text{ тыс. р.} * 3,5 \text{ га} * 1,4 * 1 = 916\,300 \text{ рублей}$$

То есть, с одного отвала величина ущерба составляет 916 тысяч рублей, что является достаточной суммой для рассмотрения решения об утилизации залежей, находящихся на территории города Питкяранта.

По суммарному показателю  $Z_c$  данный отвал характеризуется следующей обстановкой:

$$Z_c = (3,2 + 14,9 + 94,7 + 10,6) - 3 = 120,4$$

По таблице 4, уровень загрязненности почвы оценивается как опасный. При наличии такого результата стоит задуматься о скорейшем решении в области утилизации залежей.

3) Сравнивая полученные при анализе результаты с минимальным промышленным содержанием (МПС) компонентов в промышленной руде, можно сделать вывод, что свинец превышает МПС в 2 раза, медь по количеству превышает в 4,5 раза, цинк находится на предельном уровне (0,199% по результатам анализа против 0,2% МПС), уровень содержания алюминия находится также на ближайшем уровне к МПС.

Также для оценки эффективности разработки данного отвала есть возможность сравнить полученные содержания элементов с содержанием в похожих по геологическим условиям месторождениях России (таблица 5).

Тетюхинское месторождение, Турьинские рудники, месторождение Алтын-топкан относятся к скарновому типу месторождений, как и Питкяранское месторождение. Месторождение Викша находится в непосредственной близости к Питкяранскому, поэтому данное месторождение также принимается в процесс сравнения.

Таблица 5

Среднее содержание элементов в месторождениях (составлено автором)

|                           | Cu                  | Pb         | Zn         | Ag         |
|---------------------------|---------------------|------------|------------|------------|
| Техногенный отвал         | 0,541%              | 0,330%     | 0,199%     | 8 г/т      |
| Викша                     | 0,11% =<br>2,37 г/т | Нет данных | Нет данных | 0,47 г/т   |
| Тетюхинское месторождение | Нет данных          | Нет данных | 17%        | 280 г/т    |
| Турьинские рудники        | Нет данных          | 12%        | Нет данных | Нет данных |
| Алтын-топкан              | Нет данных          | 2,1%       | 2,41%      | Нет данных |

Учитывая условия образования отвала в городе Питкяранта, климатические условия района, близость к Ладожскому озеру, а также проведя аналитический анализ состава шлакоотвала, содержащий в процентном отношении больше полезных компонентов, чем в некоторых месторождениях, и экономическую оценку отвала можно сделать вывод о целесообразности его разработки в качестве техногенного месторождения с извлечением полезных компонентов и рекультивацией занимаемой территории.

Для совершения всех необходимых технических процессов при выделении полезных компонентов, предлагается использовать горно-обоганительный комбинат, расположенный на территории недавно открытого месторождения Викша, находящегося в 90 км к северу от Петрозаводска. Доставкой извлеченного объема шлаков до перерабатывающего производства представляет 1 стадию переработки.

2 стадия – извлечение концентратов ценных и редких металлов. Дальнейшая переработка шлаков с целью извлечения из них полезных металлов. Основным методом переработки шлако-зольных материалов является вскрытие их кислотными реагентами, в качестве которых могут использоваться минеральные кислоты, методы флотации и гидравлического действия.

На территории месторождения Викша расположено необходимое оборудование для флотации и выщелачивания отобранных залежей с отвала. Целесообразность работ связана с достаточной близостью данного месторождения от Питкяранты, расстояние составляет около 200 км.

Стоимость работ по транспортировке определяются в соответствии с тарифами (Тарифы на перевозку..., 1990) с пересчетом цен на 2021 год и рассчитывается по формуле:

$$P = M * p \quad (8),$$

где M – масса груза, т;

P – цена перевозки груза, р/км

Согласно тарифам, стоимость перевозки на 200 км к месторождению на 2021 год составит 1046 р за тонну груза. Учитывая исходные данные по отвалу, его масса составляет 1 млн. тонн отходов, поэтому общая стоимость работ по транспортировке будет составлять 1 046 000 тыс. рублей.

Для гидравлического извлечения поблизости, в г. Петрозаводск, находятся предприятия по производству строительных материалов, в характеристике которых существует аппаратура, необходимая для получения ценных компонентов.

3 стадия – переработка шлаков и дальнейшее использование.

Как уже упоминалось, добытое техногенное сырье может быть использовано в трех вариантах:

В строительной сфере переработанные шлаки можно использовать в строительстве дорог, изготовлении строительных материалов, применять в качестве гидравлической добавки в производство бетона,

Также широко используются в химической промышленности, металлургии, сельском хозяйстве, медицине, создании электронных гаджетов и аппаратов. Так, например, ванадий в качестве небольшой добавки в сталь вместе с ниобием позволяют снизить вес конструкций при строительстве мостов, многоэтажных зданий, газо- и



нефтепроводов, при этом срок службы конструкций увеличивается в несколько раз. Также, современное автомобилестроение также не обходится без ванадия.

Также их можно использовать для засыпки карьеров, болот, рекультивации земельных территорий, что однозначно важно для улучшения экологии.

К оставшимся неперерабатываемым шлакам, как к отходам металлургического производства, необходимо применять весь спектр требований по хранению и обращению с отходами производства и потребления. Шлаки подлежат захоронению на специализированных полигонах, вдали от населенных пунктов.

Ликвидация отвала необходима для улучшения экологической обстановки в районе города. Также появляется возможность возвращения в земельный оборот около 35 000 м<sup>2</sup> земель, занимаемых отвалом. Рекультивированные земли и прилегающая к ним территория после завершения всего комплекса работ должны представлять собой оптимально организованный, экологически сбалансированный и устойчивый земельный участок, обеспечивающий наиболее благоприятные условия для развития долголетних и продуктивных экосистем.

В результате проведённой эколого-экономической оценки перспективность разработки данного отвала в качестве источника ценных металлов и продукции производств обуславливается нахождением элементов с содержанием выше промышленного минимума и экологическим эффектом. Прибыль, полученная с учетом переработки, не считается до конца установленной, так как задачей оценки был расчёт доходов от разработки шлакоотвала. При оценке будущей прибыли необходимо учесть все возможные издержки на каждом этапе разработки, среди таких находятся расходы на транспортировку отходов до места переработки, выплата заработной платы сотрудникам, потери объема залежей в процессе удаления из отвалов, налоги на размещение отходов и другие.

Объект исследования давно представляет интерес с точки зрения изучения его состава, свойств и его негативных последствий, но попытки для переработки залежей еще не предпринимались.

На данный момент, учитывая полученные характеристики в ценовой эквиваленте, данный отвал в центре города Питкяранта необходимо изолировать от окружающей среды посредством переработки и утилизации его содержимого, так как его нахождение крайне негативно сказывается на состоянии природных оболочек, чем подтверждается полученная величина  $Z_c=120$ .

## Заключение.

По результатам проведённого исследования были сделаны следующие выводы:

1) Объект исследования находится внутри селитебной зоны, в центре города Питкяранта, близкое его расположение к акватории Ладожского озера и жилым постройкам определяет данный шлакоотвал как источник загрязнения различными химическими веществами, вследствие которых может происходить ухудшение качества компонентов окружающей среды..

2) При определении перспективности разработки техногенных месторождений необходимо учитывать условия образования залежей, физико-географические характеристики его расположения, состав компоненты, условия переработки и утилизации, вид использования сырья и экологичность работ. В соответствии с этими данными и полученным результатом геолого-инженерных изысканий и эколого-экономической оценки принимается решение о целесообразности работ по извлечению и вторичному использованию ресурсов.

3) Результат анализа компонентов шлакоотвала показал высокие содержания многих химических элементов, в том числе и полезных, среди которых Мо средним значением 84 г/т, Ti со значением 2994 г/т, V со значением 104 г/т, Ag со значением 8 г/т и др. Учитывая, что некоторые редкие металлы не имеют собственных рудных месторождений и их производство связано с переработкой руд других металлов (Pb, Zn, Cu, Al), то такие нетрадиционные источники редких металлов, как шлаковые отходы, будут приобретать особую актуальность. Также высокие цены на металлы на мировом рынке, при сравнительно невысокой себестоимости их лабораторного извлечения из отвалов, проявляют возможность получения металлов в лабораториях ниже стоимость извлечения их из недр Земли.

В его составе также находится множество токсичных элементов (Cd со средним значением 26 г/т, As со значением 149 г/т и др.) которые загрязняют почвенную среду, атмосферу и акваторию Ладожского озера, находящегося в непосредственной близости. Отвал также является источником загрязнения растительного и животного мира вследствие его нахождения на берегу озера и возле жилых и производственных зданий.

4) Результат проведённой эколого-экономической оценки показывает, что при внедрении алгоритма по извлечению, переработке и утилизации залежей, возможно получение денежных средств, в перерасчете полученного дохода в размере 9,099 млрд. рублей и всех производственных издержек, среди которых расходы на транспортировку в

размере 1,046 млрд. рублей и др. Целью оценки являлось получение положительного результата, который означает перспективность и выгодность привлечения денежных средств к его разработке и полученный результат удовлетворяет этому условию.

5) Для варианта переработки данного шлакоотвала, в работе был представлен один из комплексных методов переработки отвала для дальнейшего использования в различных сферах промышленности (строительстве, медицине и т.д.), с последующим удалением отходов согласно государственным нормам. Данная схема соответствует содержанию шлакоотвала для наиболее полного извлечения полезных компонентов.

На данный момент изучение вопроса о переработки шлаков не имеет целостного новаторского решения с учетом всех особенностей техногенных месторождений и районов их нахождения, поэтому, можно сделать вывод, что переработка залежей полезных компонентов нуждается в инновационных и инвестиционных проектах, которые будут иметь многоцелевую направленность и учитывать эколого-социально-экономическое состояние района нахождения.

Перспективность использования техногенных месторождений очевидна, так как их использование позволяет одновременно решать целый ряд экономических, социальных и экологических проблем. При комплексном обращении с опасными отходами производства возможно уменьшение негативного экологического воздействия на оболочки окружающей среды, освобождение земель, занимаемых отвалами, которые могут быть использованы в дальнейшей хозяйственной деятельности, рационально распределить вторичные ресурсы и получить прибыль от производства низких по себестоимости товаров. На данный момент рекультивация территорий, занятых шлако- и золоотвалами, будет происходить за счет экологического законодательства. Стоит задуматься над созданием комплекса мероприятий, направленных на восстановление среды, за счет потребителей данных территорий – заводов, тепло- и электростанций и др., а также ввести более жесткие меры по размещению отходов, особенно опасных, на дневной поверхности Земли.

Также в будущем главной задачей горно-обогатительных и металлургических производств должна стать минимизация поступления металлосодержащих отходов в отвалы за счет снижения потерь металлов на всех технологических циклах: от добычи и обогащения до металлургического передела.

## **Благодарности.**

Автор работы выражает благодарность за помощь в процессе подготовки выпускной квалификационной работы своему научному руководителю – доценту кафедры экологической геологии СПбГУ, кандидату геол.-мин. наук, Зеленковскому П. С. Серьезный научный подход от начального этапа выбора темы работы до окончательного завершения, помог провести полное исследование для достижения главной цели, вследствие чего и была написана выпускная работа.

Также стоит поблагодарить Подлипского И. И. за предоставленные данные, непосредственно участвовавшие в аналитической части работы; его вклад был особенно важен в выборе объекта исследования, так как без него написание выпускной работы бы не состоялось.

## Список литературы.

1. Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. – Апатиты: КНЦ РАН, 2017. – 175 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-91137-355-9. – Текст: непосредственный.
2. Атлас почв Российской Федерации: Республика Карелия / Почвенно-географическая база данных России. – Изображение: электронное / <https://soil-db.ru> [сайт]. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/respublika-kareliya> (дата обращения 10.12.2020).
3. Атомная спектроскопия: руководство по выбору подходящего метода анализа и прибора. – Текст: электронный // Компания «СервисЛаб»: официальный сайт. – 1992-2021. – URL: <http://www.servicelab.ru/docs/as.pdf> (дата обращения: 08.04.2021).
4. Баранчик, В. П. Экономика природопользования: учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» / В. П. Баранчик, С. А. Касперович. - Минск: БГТУ, 2010. – 422 с. – Библиогр.: с. 4- 20. – ISBN 978-985-530-006-0 – URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/14258> (дата обращения 08.09.2020). – Текст: электронный.
5. Блошенко, Т. А. Разработка техногенных и россыпных месторождений: налоговый потенциал / Т. А. Блошенко, А. С. Поздняев // Экономика. Налоги. Право – 2015. – № 3. – с. 87-93.
6. Блошенко, Т. А. Разработка техногенных и россыпных месторождений: налоговый потенциал/ Т. А. Блошенко, А. С. Поздняев// Экономика. Налоги. Право. – 2015. – № 3. - с. 87-93.
7. Бобович, Б. Б. Переработка промышленных отходов. Учебник для вузов. – Москва: «СП Интернет Инжиниринг». – 1999. – 445 с. – ISBN 5-89894-018-8. – Текст: непосредственный.
8. Большенко, В. В. Эколого-экономическая оценка использования техногенных месторождений (на примере восточного Донбасса): специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством: экономика природопользования»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / В. В. Большенко; Южно-Российский государственный технический университет. – Новочеркасск, 2006. – 28 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/ekologo->

ekonomicheskaya-otsenka-ispolzovaniya-tehnogennykh-mestorozhdenii-na-primere-vostoc  
(дата обращения 25.12.2020). – Текст: электронный.

9. Бусырев, В. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений / В. М. Бусырев, О. Е. Чуркин // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2016. – № 6. – с. 106-114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stoimosti-zapasov-i-effektivnosti-osvoeniya-tehnogennyh-mestorozhdeniy> (дата обращения 10.11.2020). – Текст: электронный.

10. Голик, В. И. Оптимальный критерий утилизации хвостов обогащения руд с целью применения их при изготовлении твердеющих смесей / В. И. Голик, В. И. Комащенко // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2015. – № 12. – с. 65-72. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnyy-kriteriy-utilizatsii-hvostov-obogascheniya-rud-s-tselyu-primeneniya-ih-pri-izgotovlenii-tverdeyuschih-smesey> (дата обращения: 02.12.2020). – Текст: электронный.

11. ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы. Общие требования к рекультивации земель = Nature protection. Lands. Reclamation general requirements: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.03.83 N 1521: введен впервые: дата введения 1984-07-01. – Москва, 2017. – 20 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003393> (дата обращения 13.12.2021). – Текст: электронный.

12. ГОСТ 33850-2016. ПОЧВЫ. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии = Soils. Determination of chemical composition by X-Ray fluorescence spectrometry: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 октября 2016 г. N 1433-ст: введен впервые: дата введения 2020-01-01/ Разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением "Почвенный институт имени В. В. Докучаева" (ФГБНУ "Почвенный институт им.В. В. Докучаева) совместно с Аналитическим центром МГУ имени М. В. Ломоносова. – Москва, 2016. – 16 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140375> (дата обращения 12.01.2021). – Текст: электронный.

13. ГОСТ Р 55945-2014. Общие требования к инженерно-геологическим изысканиям и исследованиям для сохранения объектов культурного наследия: национальный стандарт Российской Федерации издание официальное: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 февраля 2014 г. № 16-ст: введен впервые: дата введения 2015-01-01/ Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральные научно-

реставрационные проектные мастерские» (ФГУП ЦНРПМ) и др. – Москва, 2014. – 20 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108851> (дата обращения 13.12.2021). – Текст: электронный.

14. ГОСТ Р 58595-2019. Отбор проб = Soils. Sampling: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 октября 2019 г. N 954-ст: введен впервые: дата введения 2020-01-01/ Разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением "Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н.Прянишникова" (ФГБНУ "ВНИИ агрохимии"). – Москва, 2019. – 8 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168814> (дата обращения 15.01.2021). – Текст: электронный.

15. Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации 2016: заседание Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии и Высшего горного совета, председатель Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России». – Москва, 2016. – URL: <http://duma.gov.ru/news/11916/> (дата обращения 25.09.2020). – Текст: электронный.

16. Государственный доклад «о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [официальный сайт] – Москва. – URL: <http://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения: 19.02.2020). – Текст: электронный.

17. Зиангирова, А. А. Геологическое строение и вещественный состав рудопроявления Восточно-Импилахтинское рудопроявление (Северное Приладожье): выпускная квалификационная работа бакалавра/ А. А. Зиангирова; Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург, 2016. – 69 с. – URL: [https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/4068/1/Diplomnaya\\_rabota.pdf](https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/4068/1/Diplomnaya_rabota.pdf) (дата обращения 01.11.2020). – Текст: электронный.

18. Зиангирова, А. А. Геологическое строение и вещественный состав рудопроявления Восточно-Импилахтинское рудопроявление (Северное Приладожье): выпускная квалификационная работа бакалавра/ А. А. Зиангирова; Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург, 2016. – 69 с. – Библиогр.: с. 4-20. - URL: [https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/4068/1/Diplomnaya\\_rabota.pdf](https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/4068/1/Diplomnaya_rabota.pdf) (дата обращения 01.11.2020). – Текст: электронный.

19. Карелия – как природный территориальный комплекс. – Текст: электронный // Студенческая библиотека онлайн. – 2013-2021. – URL:

[https://studbooks.net/1829896/geografiya/kareliya\\_-kak\\_prirodnyy\\_territorialnyy\\_kompleks](https://studbooks.net/1829896/geografiya/kareliya_-kak_prirodnyy_territorialnyy_kompleks)

(дата обращения 19.01.2021).

20. Ларичкин, Ф. Д. Сложности и противоречия методологии обоснования параметров кондиций на месторождениях многокомпонентных руд и пути их преодоления / Ф. Д. Ларичкин, А. Г. Воробьев, Ю. Г. Глуценко, В. Н. Переин, Б. С. Хамзин // Горный журнал. – 2010. – 20 с. – URL: <https://rusredmet.ru/f/slozhnosti-i-protivorechiya-metodologii-obosnovaniya-parametrov-kondicij.doc> (дата обращения 06.10.2020). – Текст: электронный.

21. Месяц, С. П. Компьютерная модель формирования биогеобарьера для сохранения складированных отходов рудообогатения / С. П. Месяц, С. П. Остапенко // Горная промышленность. – 2015. – № 6. – ISSN 2587-9138 – URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/9727-kompyuternaya-model-sozdaniya-biogeobarera-dlya-sokhraneniya-skladirovannykh-otkhodov-rudoobogashcheniya> (дата обращения 16.12.2020). – Текст: электронный.

22. Минина, Д. О. Технологии переработки горнопромышленных отходов в декоративные материалы // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2012. – № 12. – с. 354-358. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-pererabotki-gornopromyshlennyh-otkhodov-v-dekorativnye-materialy> (дата обращения: 06.11.2020). – Текст: электронный.

23. Мирзоева, А. Р. Оценка экономической эффективности комплексного использования сырья/ А. Р. Мирзоева, М. Х. Шогенова // Экономический анализ: теория и практика. – 2013. – с. 51-60. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-kompleksnogo-ispolzovaniya-syrya> (дата обращения 16.08.2020). – Текст: электронный.

24. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: методические указания: утверждено Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 года. – Москва, 1999. – URL: <https://zakonbase.ru/content/part/281875?print=1> (дата обращения 29.09.2020). – Текст: электронный.

25. Мухамадиева, Д. Н. Социально-экономические последствия производства и распределения общественных благ: специальность 08.00.01 – Экономическая теория: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Мухамадиева Динара Назифовна; Московский государственный институт международных отношений. – Москва, 2019. – 205 с. – URL: <https://mgimo.ru/upload/diss/2019/mukhamadieva-d-n-diss.pdf> (дата обращения 15.02.2021). – Текст: электронный.

26. Об утверждении Плана мероприятий по реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (на 2019 - 2024 годы) [Текст]: приказ Минприроды России от 13.05.2019 N 296 // Официальные документы



Минприроды России. – 2019. – 9 с. – URL: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/1bb/prikaz296.pdf> (дата обращения 26.09.2020). – Текст: электронный.

27. Обогащение руд цветных металлов: конспект лекций для студентов специальности "Обогащение полезных ископаемых" / Сост. доц. В. Н. Самылин; ДонНТУ. – Донецк, 2008. – 57 с. – URL: <https://www.geokniga.org/books/7540> (дата обращения 13.10.2020). – Текст: электронный.

28. ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой: межгосударственный стандарт: издание официальное. – Москва, 1998. – 31 с. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293777/4293777593.pdf> (дата обращения 13.12.2021). – Текст: электронный.

29. Полезные ископаемые Северного Приладожья. Основные виды полезных ископаемых и особенности их размещения. – Текст: электронный // ИР-ЕКО: официальный сайт. – 2021. – URL: <https://ip-eco.ru/impilahtinskij-uchebno-nauchnyj-poligon/poleznye-iskopaemye-severnogo-priladozhya/> (дата обращения 20.11.2020).

30. Республика Карелия. Статистический ежегодник. 2016: Статистический сборник/Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия (Карелиястат) / Редакционная коллегия: Л. С. Король (Председатель редакционной коллегии), А. А. Бойкова, Э. И. Зарезина, О. И. Кирпу, Л. В. Комарова, О. В. Медведева, В. И. Нежевская, Т. Н. Павлова. – Петрозаводск, 2016. – 394 с. – URL: [https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02011\\_sborni.pdf](https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02011_sborni.pdf) (дата обращения 16.09.2020). – Текст: электронный.

31. Российская Федерация. Законы. О недрах: Федеральный закон № 2395-1: текст с изменениями и дополнениями на 1 января 2019 года [принят Государственной думой 21 февраля 1992 года]. – Москва, Дом Советов России, 1992. – 68 с. – Доступ из справ-правовой системы Гарант. – Текст: электронный.

32. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон № 89-ФЗ: [принят Государственной думой 22 мая 1998 года: одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года]. – Москва, Кремль, 1998. – 39 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения 26.09.2020). – Текст: электронный.

33. Роцин, А. Геологическая экскурсия в окрестности Питкяранты / А. Роцин. – Текст: электронный. – 2012-2017. – URL: <http://posmotrel.net/ladoga/pitkaranta.html> (дата обращения 16.10.2020).

34. Рыжова, Л. П. К вопросу эффективности обработки техногенных месторождений рудных полезных ископаемых / Л. П. Рыжова, Е. В. Носова // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2015. – № 8. – с. 49-55. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-effektivnosti-otrabotki-tehnogennyh-mestorozhdeniy-rudnyh-poleznyh-iskopaemyh> (дата обращения 15.11.2020). – Текст: электронный.
35. Сабанова, М. Н. Интенсификация процесса флотации медного шлама в условиях водооборота: специальность 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сабанова Марина Николаевна; Сибайский филиал АО «Учалинский ГОК». – Москва, 2016. – 169 с. – URL: <http://xn--80apgmdbfl.xn--p1ai/wp-content/uploads/2016/10/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%A1%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9.pdf> (дата обращения 13.01.2021). – Текст: электронный.
36. Садов, А. В. Эколого-экономическая оценка природных ресурсов, как фактор устойчивого развития территорий / А.В. Садов, О.Б. Наполов // Вестник российской академии естественных наук. – 2014. – №2. – с. 23-28.
37. Складорова, Г. Ф. К вопросу разработки рациональных технологий по переработке отходов обогатительных фабрик Солнечного ГОКа / Г.Ф. Складорова, Л. Т. Крупская // Горн. информ.-аналит. бюлл. – 2013. – № 5. – с. 138-144. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-razrabotki-ratsionalnyh-tehnologiy-po-pererabotke-otvodov-obogatitelnyh-fabrik-solnechnogo-goka-dalniy-vostok> (дата обращения 10.09.2020). – Текст: электронный.
38. Снетков, В. И. Проблемы оценки и разработки техногенных запасов дражных полигонов / В. И. Снетков, Б. Л. Тальгамер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – №1. – с. 111-118. – URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/69c/69c71d519484dc233ffd0cff87d7a3f9.pdf> (дата обращения 15.02.2021). – Текст: электронный.
39. Сосновский, С. А. Плазмотермическая переработка сырья природных и техногенных месторождений / С. А. Сосновский, В. И. Сачков, Е. В. Обходская // Недропользование. XXI век. – 2015. – № 2. – с. 38-41. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23585585> (дата обращения: 02.12.2020). – Текст: электронный.
40. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства = Engineering environmental site investigations for construction: издание официальное: принят

и введен в действие письмом Департамента развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России от 10.07.97 № 9-1-1/69: введен впервые: дата введения 1997-08-15/ Разработан Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) и др. – Москва, 1997. – 42 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения 15.01.2021). – Текст: электронный.

41. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства = engineering geological site investigations for construction: свод правил: издание официальное: введен в действие письмом Департамента развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России от 14 октября 1997 г. № 9-4/116: введен впервые: дата введения 1998-03-01/ Разработан Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя России и др. – Москва, 1998. – 39 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000255> (дата обращения 13.11.2021). – Текст: электронный.

42. Спутниковая карта мира / Google. – Изображение: электронное // google.ru = Карта мира: [сайт]. – URL: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения 18.01.2021).

43. Спутниковая карта мира / Yandex. – Изображение: электронное // yandex.ru = Карта мира: [сайт]. – URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения 18.01.2021).

44. Тарифы на перевозку грузов и другие услуги, выполняемые автомобильным транспортом: прејскурант № 13-01-01: утвержден постановлением Госкомцен РСФСР от 8 февраля 1989 года № 67. – Москва, 1989. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901861760> (дата обращения 29.11.2020). – Текст: электронный.

45. Техногенные месторождения: конспект лекций для студентов [Электронный ресурс]. – 80 с. – URL: <https://www.docsity.com/ru/tehnogennye-mestorozhdeniya-2/1684796/> (дата обращения 13.09.2020).

46. Умнов, В.А. Эколого-экономическая оценка управления техногенными месторождениями/ В. А. Умнов// Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». – 2017 - с. 21 – 29. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-otsenka-upravleniya-tehnogennymi-mestorozhdeniyami> (дата обращения 29.01.2020). – Текст: электронный.

47. Умнов, В.А. Эколого-экономическая оценка управления техногенными месторождениями/ В. А. Умнов// Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». – 2017. – с. 21-29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskaya-otsenka-upravleniya-tehnogennymi-mestorozhdeniyami> (дата обращения 29.01.2020)

48. Черенцова, А. А. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья / А. А. Черенцова, С. М. Олесик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – с. 230-243 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zoloshlakovyh-othodov-kak-istochnik-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-i-kak-istochnik-vtorichnogo-syrya> (дата обращения 29.01.2020). – Текст: электронный.
49. Экологическая доктрина Российской Федерации: издание официальное: Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 года № 1225-р: введен впервые. – Москва, 2002. – 13 с. – URL: [http://www.mnr.gov.ru/docs/ekologicheskaya\\_doktrina/ekologicheskaya\\_doktrina\\_rossiyskoy\\_federatsii/](http://www.mnr.gov.ru/docs/ekologicheskaya_doktrina/ekologicheskaya_doktrina_rossiyskoy_federatsii/) (дата обращения 10.12.2021). – Текст: электронный.
50. Ecological project «Purification-Revival-Prosperity». – Текст: электронный // Russian Asian Business Union PTE LTD (RABU): официальный сайт. – URL: <https://www.ruasean.com/investment-in-russia/investment-projects/144-ecological-project-purification-revival-prosperity.html> (дата обращения: 08.03.2021).
51. Mineral commodity summaries 2017 / U.S. Geological Survey. – Reston, VA, 2017. – 202 p. – URL: <https://doi.org/10.3133/70180197> (дата обращения 29.09.2020). – Текст: электронный.
52. Sanchez, M. Reutilisation of primary metallurgical wastes: copper slag as a source of copper, molybdenum, and iron – brief review of testwork and the proposed way forward / M. Sanchez, M. Sudbury // Min Metall. – Ontario, 2013. – (49) 2. – p. 13. – URL: [https://www.slag-valorisation-symposium.eu/2013/images/papers/s2\\_2\\_Sanchez.pdf](https://www.slag-valorisation-symposium.eu/2013/images/papers/s2_2_Sanchez.pdf) (дата обращения: 08.10.2020). – Текст: электронный.
53. Talgamer, B. Enhanced recovery methods for development of technogenic placers / B. Talgamer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Volume 87. – Issue 4. pp. 1-6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/87/4/042021> (дата обращения 20.10.2020). – Текст: электронный.
54. Tong, X. Recovery of Copper from Copper Smelter Slag by Flotation / X. Tong, B. Han, S. P. Ren, B. Yang // Periodical Applied Mechanics and Materials. – 2014. – pp. 406-409. – URL: <https://www.scientific.net/AMM.496-500.406> (дата обращения: 01.04.2020). – Текст: электронный.
55. Webmineral.ru: минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья [сайт]. – 2010. – URL: <https://webmineral.ru/> (дата обращения 02.09.2020). – Текст: электронный.

## Приложения.

### Приложение 1. Таблица 1

Система государственного управления природно-ресурсным потенциалом территории (Блошенко, Поздняев, 2015)

| Уровни государственного управления природно-ресурсным потенциалом   | Цели эколого-экономической оценки природно-ресурсного потенциала   |
|---|--|
| Федеральный уровень должен обеспечивать оценку природно-ресурсного потенциала в составе национального богатства страны.   | <ul style="list-style-type: none"><li>• учет эколого-экономической стоимости природных ресурсов на федеральном уровне;</li><li>• обоснование приоритетных направлений освоения природно-ресурсного потенциала для построения прогнозов социально-экономического развития страны;</li><li>• оценка природно-ресурсного потенциала страны в составе национального богатства по методологии системы национальных счетов (СНС).</li></ul>  |
| Региональный уровень должен обеспечивать воспроизводство природных ресурсов, обеспечение экологической безопасности и социальной стабильности конкретного региона           | <ul style="list-style-type: none"><li>• определение ограничений природопользования в конкретном регионе;</li><li>• укрепление межрегиональных связей в плане обмена природными ресурсами, избыточными или недостаточными в конкретных регионах страны;</li><li>• учет эколого-экономической стоимости природных ресурсов на региональном уровне;</li><li>• обоснование направлений воспроизводства природно-ресурсного потенциала в конкретном регионе.</li></ul>  |
| Локальный (муниципальный) уровень должен отражать приоритеты общенационального развития, но при этом учитывать специфику и интересы конкретной территории (область, район). | <ul style="list-style-type: none"><li>• выбор варианта использования природных ресурсов (альтернативных) на конкретной территории;</li><li>• обоснование сохранения природных ресурсов, обеспечивающих жизнедеятельность населения конкретной территории;</li><li>• обоснование допустимых потерь природных ресурсов;</li><li>• учет эколого-экономической стоимости природных ресурсов на муниципальном уровне;</li><li>• определение способов переработки вторичных отходов на конкретной территории;</li><li>• определение ограничений природопользования в границах конкретной территории.</li></ul> |

Нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд (Баранчик, Касперович, 2010)

| Типы и подтипы изымаемых сельскохозяйственных угодий  | руб./га |
|---|---------|
| I зона Республики Карелия, Коми; Архангельская, Мурманская области;<br>Ненецкий АО  | 127     |
| II зона Республики Марий-Эл, Удмуртская; Брянская, Владимирская,<br>Вологодская, Ивановская, Калужская, Тверская, Кировская, Костромская,<br>Новгородская, Пермская, Псковская, Смоленская, Ярославская области;<br>Коми-Пермяцкий АО | 124     |
| III зона Чувашская Республика Чуваш; Нижегородская Орловская,<br>Рязанская, Тульская области  | 156     |
| IV зона Республики Мордовия, Татарстан; Белгородская, Воронежская,<br>Самарская, Курская, Липецкая, . Пензенская, Тамбовская, Ульяновская<br>области  | 206     |
| V зона Республика Калмыкия Хальмг-Тангч, Астраханская Волгоградская,<br>Саратовская области   | 174     |
| VI зона Республика Адыгея, Краснодарский край   | 270     |
| VII зона Республики Дагестан, Ингушская, Кабардино-Балкарская,<br>Карачаево-Черкесская, Северная Осетия, Чечня; Ставропольский край;<br>Ростовская область  | 259     |
| VIII зона Республика Башкортостан, Курганская, Оренбургская,<br>Свердловская, Челябинская области   | 147     |
| IX зона Республика Алтай, Алтайский край, Новосибирская, Омская,<br>Томская и Тюменская области; Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий АО  | 177     |
| X зона Республики Бурятия, Тува, Хакасия; Красноярский край; Иркутская,<br>Читинская области; Агинский Бурятский АО, Таймырский (Долгано-<br>Ненецкий АО, Усть-Ордынский Бурятский АО, Эвенкийский АО                                 | 188     |
| XI зона Республика Саха (Якутия); Приморский, Хабаровский края;<br>Камчатская, Магаданская, Сахалинская области; Еврейская АО, Корякский<br>АО, Чукотский АО  | 51      |
| XII зона Калининградская, Ленинградская области и г.Санкт-Петербург   | 81      |
| XIII зона Московская область и г.Москва   | 130     |

Коэффициенты ( $K_э$ ) экологической ситуации и экологической значимости территории (Баранчик, Касперович, 2010)

| Экономические районы Российской Федерации | $K_э$ |
|---|-------|
| Северный                                  | 1,4   |
| Северо-Западный                           | 1,3   |
| Центральный                               | 1,6   |
| Волго-Вятский                             | 1,5   |
| Центрально-Черноземный                    | 2,0   |
| Поволжский                                | 1,9   |
| Северо-Кавказский                         | 1,9   |
| Уральский                                 | 1,7   |
| Западно-Сибирский                         | 1,1   |
| Восточно-Сибирский                        | 1,1   |
| Дальневосточный                           | 1,1   |

Коэффициенты ( $K_{п}$ ) для особо охраняемых территорий (Баранчик, Касперович, 2010)

| Почвы и земли в пределах особо охраняемых территорий                       | $K_{п}$ |
|--|---------|
| Земли природно-заповедного фонда   | 3,0     |
| Земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения | 2,0     |
| Земли рекреационного назначения  | 1,5     |
| Прочие земли   | 1,0     |



Минимальное промышленное содержание элементов в промышленных рудах  
(Ларичкин и др, 2010)

| Компонент | Ед. измерения | Обогатительный предел |
|-----------|---------------|-----------------------|
| Свинец    | %             | 0,15                  |
| Цинк      | %             | 0,20                  |
| Медь      | %             | 0,12                  |
| Барит     | %             | 8,00                  |
| Олово     | %             | 0,08                  |
| Сера      | %             | 5,00                  |
| Мышьяк    | %             | 0,90                  |
| Алюминий  | %             | 3,00                  |
| Кадмий    | г/т           | 30                    |
| Висмут    | г/т           | 15                    |
| Серебро   | г/т           | 45                    |
| Индий     | г/т           | 5                     |
| Теллурий  | г/т           | 8                     |
| Селен     | г/т           | 20                    |
| Таллий    | г/т           | 10                    |
| Ртуть     | г/т           | 4                     |
| Галлий    | г/т           | 20                    |
| Германий  | г/т           | 6                     |

Результаты анализа проб из шлакоотвала с помощью шурфа и скважины (составлено автором)

| Шурф 11-1 + скв.11-5 |             |                    |      |     |      |
|----------------------|-------------|--------------------|------|-----|------|
| Шифр                 | Глубина, см | Содержание, г/грис |      |     |      |
|                      |             | Cu                 | Zn   | Pb  | As   |
| Ш11-10-0             | 0-10        | 1826               | 590  | 38  | 423  |
| Ш11-1 30-10          | 10-30       | 1493               | 407  | 86  | 194  |
| Ш11-1 50-30          | 30-50       | 851                | 222  | 71  | 38   |
| Ш11-1 70-50          | 50-65       | 758                | 168  | 59  | 40   |
| ш11-1 70-65          | 65-70       | 516                | 486  | 11  | 29   |
| Ш11-1 90-70          | 70-90       | 1964               | 522  | 62  | 296  |
| Ш11-1 110-90         | 90-100      | 3152               | 881  | 52  | 612  |
| Ш11-1 105-95         | 100-110     | 1671               | 564  | 53  | 154  |
| Ш11-1 130-110        | 110-130     | 836                | 143  | 25  | 5    |
| Ш11-1 150-130        | 130-150     | 4957               | 1049 | 63  | 883  |
| Ш11-1 170-150        | 150-170     | 4368               | 1058 | 49  | 1054 |
| C11-5 1,7-2,2        | 170-220     | 3156               | 924  | 52  | 725  |
| C11-5 2,2-3,5        | 220-350     | 2303               | 610  | 94  | 497  |
| C11-5 3,5-4          | 350-400     | 1764               | 429  | 420 | 329  |
| C11-5 4-4,5          | 400-450     | 2289               | 454  | 264 | 217  |
| C11-5 5-4,5          | 450-500     | 1452               | 140  | 45  | 20   |
| C11-более 5          | более 500   | 852                | 265  | 56  | 52   |

Приложение 4. Таблица 2

Содержание химических элементов в пробах, взятых с поверхностной части отвала на берегу озера, г/т (составлено автором)

| элемент | номер проб |        |        |        |        |        |        |        | среднее значение | процентное соотношение, % |
|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------------------------|
|         | ШК-1       | ШК-2   | ШК-3   | ШК-4   | ШК-5   | ШК-6   | ШК-7   | ШК-8   |                  |                           |
| Pb      | 99         | 90     | 163    | 46     | 103    | 91     | 75     | 265    | 117              | 0,330                     |
| Zn      | 442        | 369    | 1299   | 585    | 283    | 231    | 1513   | 848    | 696              | 0,199                     |
| Cu      | 1887       | 1803   | 836    | 1321   | 1706   | 1278   | 4013   | 2300   | 1893             | 0,541                     |
| As      | 126        | 71     | 143    | 39     | 136    | 331    | 48     | 294    | 149              | 0,042                     |
| Fe      | 98568      | 248699 | 368080 | 107805 | 146036 | 102495 | 159491 | 114504 | 168210           | 48,060                    |
| Al      | 21095      | 10054  | 15305  | 13090  | 9085   | 11604  | 7905   | 32100  | 15030            | 4,294                     |
| S       | 4935       | 4768   | 5495   | 6082   | 4582   | 5138   | 5361   | 5704   | 5258             | 1,502                     |
| Si      | 37056      | 39420  | 36582  | 38050  | 32589  | 31534  | 32990  | 30568  | 34849            | 9,957                     |
| Mo      | 87         | 56     | 93     | 70     | 103    | 62     | 108    | 94     | 84               | 0,024                     |
| Cr      | 60         | 21     | 58     | 19     | 60     | 64     | 41     | 63     | 48               | 0,014                     |
| Ti      | 3500       | 2616   | 3035   | 2940   | 3600   | 3102   | 2694   | 2464   | 2994             | 0,855                     |
| Mn      | 529        | 1005   | 942    | 462    | 598    | 468    | 682    | 359    | 631              | 0,180                     |
| Cd      | 36         | 28     | 24     | 16     | 31     | 25     | 30     | 19     | 26               | 0,007                     |
| Br      | 5          | 23     | 14     | 20     | 18     | 24     | 13     | 9      | 16               | 0,005                     |
| V       | 57         | 202    | 92     | 126    | 72     | 59     | 86     | 138    | 104              | 0,030                     |
| Co      | 50         | 24     | 20     | 61     | 37     | 46     | 30     | 71     | 42               | 0,012                     |
| Rb      | 70         | 89     | 90     | 83     | 100    | 69     | 135    | 76     | 89               | 0,025                     |
| Ni      | 42         | 36     | 30     | 19     | 39     | 45     | 25     | 41     | 35               | 0,010                     |
| Br      | 11         | 31     | 16     | 25     | 5      | 19     | 9      | 27     | 18               | 0,005                     |
| Ag      | 8          | 10     | 1      | 6      | 6      | 9      | 12     | 9      | 8                | 0,002                     |