

УДК: 550.8(546.59)

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ХВОСТОХРАНИЛИЩА НЕЖДАНИНСКОЙ  
ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ**

**THE ENGINEERING-GEOLOGICAL SUBSTANTIATION  
OF TECHNOLOGICAL SCHEMES IN DESIGN OF NEZHDANINSK GOLD PRO-  
CESSING PLANT TAILINGS DAM**

Фёдоров Андрей Андреевич,  
ведущий инженер, e-mail: [aan.fedorov@s-vfu.ru](mailto:aan.fedorov@s-vfu.ru)

Fedorov Andrey A.<sup>1</sup>,  
leading engineer

Сясько Андрей Александрович,  
канд. техн.наук, доцент e-mail: [aa.siasko@s-vfu.ru](mailto:aa.siasko@s-vfu.ru)

Syasko Andrey A.<sup>1</sup>,  
C. Sc. (Engineering), associate professor

Редлих Элла Федоровна,  
старший преподаватель e-mail: [redlih@rambler.ru](mailto:redlih@rambler.ru)

Redih Ella F.,  
assistant professor, [redlih@rambler.ru](mailto:redlih@rambler.ru)

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Россия, 678960, г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16

TI (b) North-Eastern Federal University in Nerungry, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation (678960), Nerungry, Kravchenko st., 16

**Аннотация.** Актуальность работы обусловлена необходимостью выбора надежных конструктивно-технологических решений организации хвостохранилищ в специфических условиях криолитозоны. Такие хвостохранилища имеют определенные особенности, связанные с тем, что возводятся они в значительно более сложных условиях и оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды. Вместе с тем, хвостохранилища имеют повышенную экологическую и техногенную опасность, поэтому следует уделять особое внимание при проектировании и дальнейшей эксплуатации, игнорирование этих факторов может привести к катастрофическим последствиям. Яркими примерами служат аварии на хвостохранилищах Кумтор (Киргизия), Fundao (Бразилия), Mount Polley (Канада) и др.

**Цель работы:** обоснование наиболее безопасного и надежного варианта организации хвостохранилища Нежданинского горно-обогатительного комбината.

**Методы исследования:** комплексный анализ факторов.

**Заключение.** В существующих условиях гарантированно обеспечить надежное складирование хвостов золотоизвлекательной фабрики с использованием наливных и намывных схем организации хвостохранилища не представляется возможным, так как требуются применение сложных, дорогостоящих инженерных мероприятий. Также высок риск возникновения гидродинамической аварии. Примеры утилизации хвостов на аналогичных предприятиях, в условиях ограничения участка складирования и его расположения над объектами площадки предприятия отсутствуют.

Основным решением для обеспечения безопасного состояния гидротехнических сооружений золотоизвлекательной фабрики является максимально возможное снижение объема жидкой фазы поступающей в емкость накопителя (полигона) совместно с хвостами обогащения.

В качестве наиболее надежных и безопасных вариантов организации хвостового хозяйства могут рассматриваться две технологических схемы хранилища хвостов обогащения и одна – хвостов гидрометаллургии, в том числе:

- Хвостов обогащения:

а) В «сухом» виде.

- б) В пастообразном состоянии, в специальном отсеке, с сохранением замороженного состояния основного массива отходов и грунтов основания.  
 в) Хвостов гидрометаллургии – в «сухом» виде, на отдельно расположеннем полигоне.

**Abstract.** The relevance of the research is due to the need to choose a reliable design and technology solutions of organization the tailings in cryolithozone of specific conditions. These tailings have certain features, associated with the fact that they are built in much more difficult conditions and have a significant impact on the environment. At the same time, the tailings have an increased environmental and technogenic danger, so you should pay special attention to the design and subsequent exploitation, ignoring these factors can lead to catastrophic consequences. Obvious examples are the accident at the Kumtor tailing (Kyrgyzstan), Fundao (Brazil), Mount Polley (Canada), and others.

**The objective of the work:** To study the most secure and reliable version of organization the tailings of Nezhdaninsk mining and processing enterprise.

**The methods of investigation:** a comprehensive analysis of factors.

**Conclusion:** In the current environment to provide reliable storage of the gold recovery plant of tailings using upstream and downstream types of tailings organization schemes is not possible, as it requires the use of complex, expensive engineering measures. It is also a high risk of hydrodynamic accident. Examples of tailings disposal in similar enterprises in the conditions of limited storage site and its location on the site of the enterprise objects are missing.

The main solution to ensure the safe condition of hydraulic structures of gold recovery plant is the maximum possible reduction in volume of the liquid phase, coming into the storage capacity (landfill), together with tails of enrichment.

As the most reliable and secure options for tailings facilities two technological schemes of processing tailings storage facility can be considered and one - hydrometallurgy of tailings, including:

- Processing tailings:

a) In the "dry" form.

b) In the pasty state, in a special section, while maintaining the frozen state of the main body of waste and soil foundation.

c) Hydrometallurgy tailing - in the "dry" form, located on a separate site.

**Ключевые слова:** Нежданинское золоторудное месторождение, хвостохранилище, криолитозона, намывной тип, наливной тип, складирование пастообразных хвостов, складирование «сухих» хвостов, хвосты гидрометаллургии.

**Keywords:** Nezhdaninsk gold ore field, tailings dam, cryolithozone, upstream type, downstream type, the storage of paste like tailings, the storage of "dry" tailings, hydrometallurgical tailings.

## Введение

Обоснование надежных конструктивно-технологических решений организации хвостохранилищ в специфических природных условиях криолитозоны (суровый климат, вечная и сезонная мерзлота, криогенные процессы) является важной задачей, имеющей большое народно-хозяйственное значение и должно читывать все опасные процессы и воздействия [4,12].

Горнometаллургическое производство связано с образованием большого количества отвальных отходов обогащения, из которых в дальнейшем формируются хвостохранилища. На Нежданинском горно-обогатительном комбинате в результате переработки золотосодержащей руды образуются хвосты обогащения (примерно 90% суммарного объема) и, с применением цианидов, хвосты гидрометаллургии.

Учитывая природно-климатические условия, опыт утилизации отходов золотосодержащей руды, в статье будут рассмотрены технологические схемы организации хвостов обогащения и хвостов гидрометаллургии и предложены оптимальные

варианты.

## Постановка проблемы

Хвостохранилища, проектируемые в криолитозоне, имеют определенные особенности, обусловленные тем, что возводятся они в значительно более сложных условиях и оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды [2,4].

Единственным, пригодным для укладки 40 млн.куб.м. хвостов обогащения Нежданинской золотоизвлекательной фабрики участком в районе расположения месторождения, является долина р. Озерный, с расположенным на водоразделе р. Мал. Кидерики и Курум озером Мертвое (рис.1).

При проектировании хвостохранилища был проведен комплекс геофизических исследований, который позволил изучить геологическое строение района исследования, выявить неблагоприятные явления (фильтрационные процессы, погребенные льды, разрывные нарушения) и установить степень сейсмической опасности (рис.2.) [13].

Кроме того, при планировании учитываются планируемый, суммарный и годовой выход хво-

стов, действующие экологические нормативы, результаты исследований, климатические условия района и условия обеспечения безопасности гидротехнических сооружений в течении периода эксплуатации [1, 5].

Жидкая фаза циансодержащих хвостов гидрометаллургии содержит вредные химические ком-

- экстремально суровые климатические условия с продолжительным (около 8-ми месяцев в году) морозным периодом и ураганными ветрами до 25 м\сек, коротким периодом положительных температур.

- наличие в основании «вечной» мерзлоты, мощностью от 120 до 350 м.

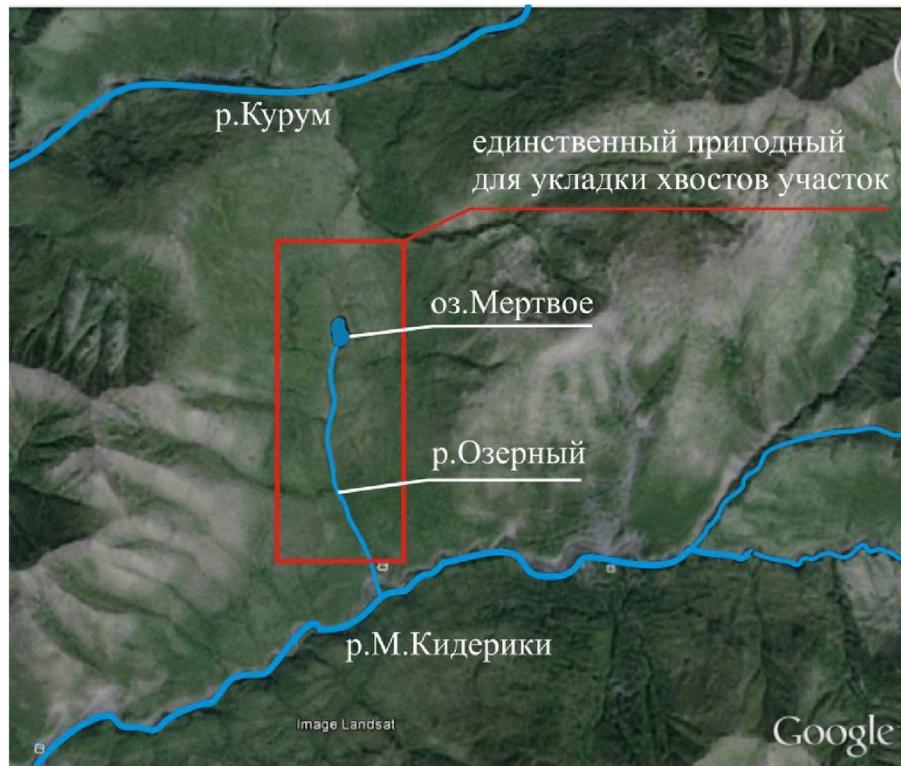


Рис.1. Участок для укладки хвостов обогащения (снимок GoogleEarth).

Fig.1. Sector for impoundment (Google Earth image).

поненты и в окружающую среду поступать не должны [1].

Для складирования хвостов могут быть рассмотрены следующие варианты хвостового хозяйства:

1. Наливное хвостохранилище.

2. Хвостохранилище намывного типа [10].

3. Хвостохранилище со складированием пастообразных (без выделения жидкой фазы пульпы) хвостов обогащения и раздельной укладкой «сухих» хвостов гидрометаллургии.

4. Складирование «сухих» хвостов на подготовленных раздельных полигонах, без организации хвостохранилища [7].

Определяющими условия и технологические решения организации хвостохранилищ факторами являются:

- степень сейсмической опасности, от которой зависят дополнительные затраты на проектирование и строительство в расчете на повышенную интенсивность (балльность), либо существует вероятность появления затрат на возможное укрепление сооружения по показателям текущей сейсмичности [13].

- отсутствие достаточного объема запасов грунтов (глин и суглинков), пригодных для устройства противофильтрационных экранов и обратных фильтров, так как в пределах района развиты пермские отложения алевролитового состава, представленные щебенистыми и щебенисто-глыбовыми грунтами с супесчаным заполнителем.

- каньонообразная конфигурация долин ручьев Озерный и Мал. Кидерики, требующая для накопления достаточного объема «подпиточной» воды, возведения водоудерживающих дамб высотой до 50м. Стесненные условия ограниченная возможность линейного развития площадки. С ростом уровня заполнения склоны поверхности бортов имеющихся долин ручьеврезко возрастают с 9-12% в нижней части до 25-30% и более на высоте более 40-60м.

- экстремальный гидрограф прохождения летних паводков, при которых объем стоков, по сравнению с нормальными расходами увеличивается в сотни раз и на р. Тыры составляет до 800 м<sup>3</sup>\сек, на р.Мал. Кидерики – около 200 м<sup>3</sup>\сек, что в случае устройства в долине пруда–накопителя требует

строительства сложных, ответственных и дорогостоящих водосбросных сооружений [11].

- ограниченность источников дополнительного водоснабжения. Большая часть годового стока реки Тыры формируется в летний период (80 %), а в холодное время года все местные водотоки перемерзают. Кроме реки Тыры, все местные водотоки в холодное (основное) время года полностью перемерзают. Единственным источником водоснабжения в зимний период является подмерзлотные воды [3,9].

- Технологический процесс фабрики должен полностью обеспечиваться за счет устойчивого и надежного оборотного водоснабжения, а для восполнения естественных потерь требуется организация отстойного или накопительного пруда.

### 1. Варианты организации хвостохранилищ.

#### 1.1. Хвостохранилище намывного типа.

Учитывая экстремальные климатические условия района и высокую (в среднем более 5 м\год, в

последующий намыв ограждающей дамбы тонкодисперсными хвостами за короткий относительно теплый период практически невозможно. Продление же намывного периода и ведение гидравлического складирования хвостов при пониженных температурах окружающей среды приведет к дополнительному нарушению условий устойчивости основной (намывной) ограждающей дамбы и повышению опасности развития гидродинамической аварии со всеми вытекающими последствиями [13].

Данные обстоятельства, в том числе высокая интенсивность заполнения хвостохранилища не позволяют использовать основные преимущества намывной технологии: - снижение объема отсыпки привозного грунта, за счет использования в качестве строительного материала самих хвостовых отложений и повышение общей безопасности сооружения вследствие создания надводного пляжа шириной более 50м, снижения кривой депрес-

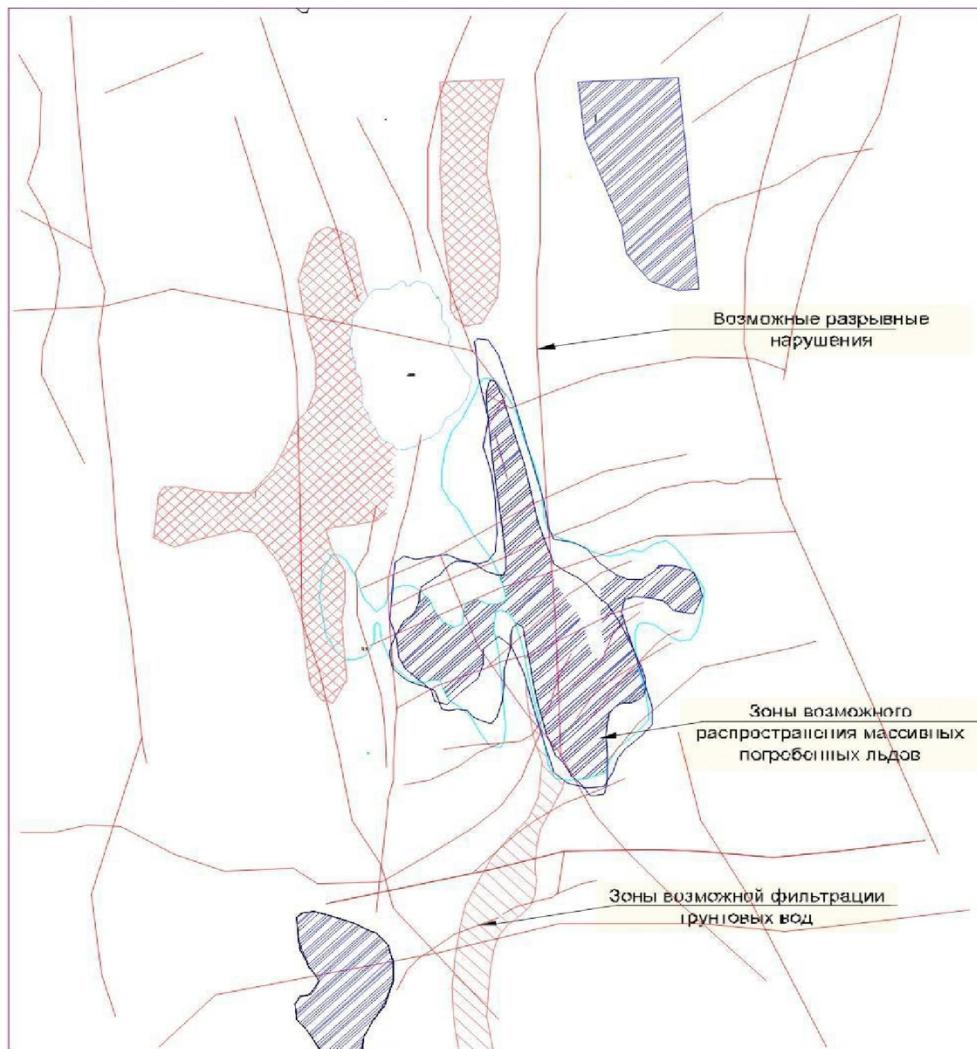


Рис.2. Карта потенциально опасных инженерно-геологических явлений.  
Fig.2. Map of potentially hazardous engineering-geological processes.

начальный период – до 15-20м\год) интенсивность заполнения емкости хвостохранилища в долине озера Мертвое, обеспечить оттаивание пляжа и

ции в теле плотины и гидростатического напора на сооружение.

Для предупреждения оттаивания основания, а

как следствие – снижения сцепляющих свойств грунтов и оползания сооружения по уклону долины, должны быть также внедрены дорогостоящие инженерно-технические мероприятия по предупреждению их оттаивания в результате заполнения накопителя теплой пульпой.

Организация на Нежданинской золотоизвлекательной фабрике хвостохранилища намывного типа не позволяет надежно обеспечить безопасность гидротехнических сооружений, усложняет условия эксплуатации, технически затруднена.

**1.2. Хвостохранилище наливного типа.** Технология простого заполнения подготовленной емкости является наиболее простой при эксплуатации, может быть внедрена без дополнительного сгущения хвостов, но требует внедрения дорогостоящих мероприятий по подготовке накопителя к складированию хвостов и потенциально наиболее опасна из всех имеющихся способов утилизации жидких отходов [14].

Единовременное или поэтапное возведение водоудерживающей плотины сложной конструкции конечной высотой около 100м, с расположением промороженных, обломочных грунтах, не имеет прямых аналогов. При этом, как и на намывном хвостохранилище, необходимо обязательное внедрение дорогостоящих инженерных мероприятий по обеспечению мерзлого состояния основания и устойчивости ограждающей дамбы.

Хвостохранилище с «жидким» ядром и отстойным прудом, с повышенной опасностью развития гидродинамической аварии будет располагаться над площадкой золотоизвлекательной фабрики и поселка Нежданинский. Для снижения возможных последствий при развитии потенциально возможной аварии потребуется строительство мощных защитных сооружений в виде отводящих плотин и каналов.

Глубина «вечной» мерзлоты в районе Нежданинской ЗИФ превышает 150м. Толщина слоя не прочного, наносного грунта, который потребуется при первоначальном строительстве вынимать, составляет не менее 6-15м. На бортах долины ручья развиваются процессы солифлюкции (оползания, верхних разрушенных слоев по слоям льдистых, более прочных грунтов), которые при определенных обстоятельствах могут привести к непредвиденному, мгновенному переполнению пруда. В результате надежная безопасность сооружения обеспечена быть не может.

Чрезвычайно сложные условия строительства и эксплуатации водоудерживающей плотины высотой более 100м, не позволяют обеспечить гарантированную безопасность хвостохранилища, поэтому вариант с хранилищем хвостов наливного типа является нецелесообразным, экологически и технически опасным, затратным.

Потенциально положительными обстоятельствами при организации накопителя намывного типа являются:

- необязательность сгущения хвостов.
- возможность прямого использования стоков системы водоотведения, для восполнения потерь воды, без строительства большого пруда-накопителя.

**1.3. Складирование «сухих» хвостов:** По этому варианту на золотоизвлекательной фабрике организовывается комплекс обезвоживания хвостов. В состав комплекса входят: отделение сгущения исходной хвостовой пульпы и отделение фильтрации [14].

Сливфильтрации возвращается в сгуститель. Осветленный слив сгустителя подается в систему оборотного водоснабжения ЗИФ для повторного использования. «Сухие» хвосты транспортируются за пределы цеха наклонным конвейером, откуда погрузчиками грусятся на автотранспорт и вывозятся на полигон для складирования отходов.

Для обеспечения правил техники безопасности при ведении горных работ, складирование «сухих» хвостов осуществляется уступами высотой не более 10-12 метров, с последовательным наращиванием и подъемом средней отметки следующую высоту заполнения.

Недостатками технологической схемы организации хвостового хозяйства со складированием «сухих» хвостов обогащения являются:

- трудоемкая и затратная подготовка отходов обогатительного передела к складированию, включая операцию обезвоживания предварительно сгущенных хвостов.

- трудоемкая и экономически затратная доставка хвостов автотранспортом в условиях постоянного увеличения высоты подъема и расстояния перевозки.

- отсутствие резервной системы утилизации хвостов при непредвиденной долговременной остановке отделения фильтрации; в случае кратковременных, до 2-6 часов остановок хвостовая пульпа может сбрасываться в аварийный бассейн с последующей его очисткой.

К объективным, основным и определяющим преимуществам этого способа относятся:

- абсолютная безопасность сооружения; отсутствие в составе ЗИФ гидротехнических сооружений.

- минимальный объем земляных работ пускового и последующих комплексов строительства.

- практически 100% использования отведенной емкости накопителя за счет равномерной укладки хвостов по площади заполнения.

- отсутствие необходимости выполнения трудоемкой подготовки основания плотин.

- отсутствие необходимости отсыпки ограждающей дамбы.

- минимальные потери воды, максимальное оборотное водоснабжение неохлажденной водой внутри золотоизвлекательной фабрики, наименьший объем требуемой подпитки.

- отработанная, надежная и достаточно простая технология обезвоживания хвостов.

**1.4. Складирование глубоко сгущенной хвостовой пульпы в «замороженное» хвостохранилище.** Данным вариантом предлагается организация комплекса глубокого сгущения хвостовой пульпы до состояния пасты, почти не сегрегирующей при укладке, так как жидкая фаза такой пульпы является полностью связанной и во внешнюю среду не выделяется [14]. Полученная таким образом суспензия транспортируется гидравлическим способом посредством объемного насоса. Теплоемкость перекачиваемой массы минимальная [15].

В холодное, основное время года хвосты равномерно сбрасываются с бортов накопителя и полностью замораживаются, летом сброс осуществляется в любом удобном для складирования и не образующим замкнутую внутреннюю полость, участке. В качестве оградительных сооружений хранилища используются, последовательно наращиваемые (или отсыпаемые сразу) в процессе эксплуатации, простые по конструкции, насыпи из грунта вскрышных пород карьера руды с небольшой дренажной призмой из сортированного скального грунта.

Максимальная высота низовой, ближайшей к золотоизвлекательной фабрике дамбы при завершении эксплуатации не превысит 100м. Для временной откачки воды из емкости временного (подкового) прудка, который возможно будет возникать в периоды прохождения осадков или таяния снега возможно использование передвижной насосной станции со сбросом стоков в нижерасположенный пруд-накопитель или в окружающую среду.

При технологически правильном, организованном складировании хвостов, такое хвостохранилище будет являться массивом из замороженно-готехногенного грунта, ограниченного местностью и насыпными, оградительными дренажными призмами.

Складирование глубоко сгущенных, пастообразных хвостов имеет ряд экологических и геотехнических преимуществ:

- отсутствие отстойного пруда, повышенная безопасность накопителя.

- отсутствие необходимости возведения конструктивно сложной, водоудерживающей дамбы с экраном, обратным фильтром и специально подготовленным основанием.

- возможность использования для отсыпки дамб любого местного грунта, в том числе отвалов вскрышных пород.

- отсутствие необходимости выемки в основании дамб разрушенных пород толщиной слоя до 15м.

- сохранение простого гидравлического способа транспортирования хвостов на участки склади-

рования с использованием мембранны-поршневого насоса объемного действия.

Основные недостатки:

- Прогнозируемо крутая с уклонами 4-6% поверхность хвостовых отложений, требующая укладки хвостов с обоих бортов хвостохранилища и ограждающих призм и как следствие несколько более низкий, чем при «сухом» складировании или «традиционных» технологиях, коэффициент использования емкости накопителя.

- несколько большим, по сравнению с «сухим» складированием, объем отсыпки.

- повышенные требования к качеству организации сгущения и гидротранспорта сгущенных хвостов, опасность «посадки» трубопроводов при ошибках в эксплуатации.

- высокое рабочее давление в пульпопроводах (при пуске – до 60ати), необходимость использования труб с толщиной стенки 15-20мм (предварительно, уточняется расчетами с учетом рабочего давления в трубах).

- увеличенный абразивный износ труб пульпопроводов.

- дополнительное увеличение объема складирования примерно из-за превращения жидкой фазы пульпы в лед (удельный вес 0.918 г\см<sup>3</sup>) в основное время года примерно на 2-3%.

- отсутствие полной гарантии по обеспечению непромерзаемости основания и как следствие – снижения безопасности сооружения.

- необходимость использования сложного и относительно дорогостоящего, объемного насоса импортного производства.

**2. Складирование хвостов гидрометаллургии.** Независимо от принятого варианта утилизации основных хвостов обогащения удобное и экономически целесообразное место, достаточной площади (из условий осветления стоков - как минимум 0.4-0.5 км<sup>2</sup>), пригодное для организации отдельного отсека с «традиционной», гидравлической (наливной, намывной или конусной) укладкой хвостов гидрометаллургии, в объеме до 300 тыс.м<sup>3</sup>/год (5.9 млн.м<sup>3</sup> за период эксплуатации) в районе строительства Нежданинского горно-обогатительного комбината отсутствует.

Сопутствующим усложняющим фактором применения «мокрой» технологии является также относительно небольшой расход исходной хвостовой пульпы. Обеспечить в существующих условиях устойчивое и надежное оборотное водоснабжение из «мокрого» хвостохранилища в суровых климатических условиях, при удалении от золотоизвлекательной фабрики на расстоянии более 1.5-2 км затруднительно.

Поэтому наиболее рациональным способом утилизации хвостов гидрометаллургии является обезвоживание и складирование ихна отдельном, расположенным рядом с фабрикой полигоне. Пригодный для этого участок местности расположен наборту долины р. Озерный. Достав-

ку «сухих» хвостов на полигон предполагается осуществлять автотранспортом на расстояние около 1 км.

Технологическая операция обезвоживания предусматривает предварительное сгущение хвостовой пульпы до 55-60% концентрации в радиальном, высокопроизводительном сгустителе.

Относительно небольшое (около 12% суммарного объема) количество хвостов и достаточно апробированная технология позволяют внедрить указанный способ без значительных технических проблем.

Для предупреждения поступления в окружающую среду загрязняющих веществ, основание полигона защищается от прямой фильтрации полизтиленовой пленкой, а внешние дренажные стоки перехватываются и направляются в пруд-накопитель или непосредственно возвращаются в технологический процесс.

### **Заключение**

1. В существующих условиях гарантированно обеспечить надежное складирование хвостов золотоизвлекательной фабрики с использованием наливных и намывных схем организации хвостохранилища не представляется возможным, так как требуются применение сложных, дорогостоящих инженерных мероприятий. По результатам геофизических исследований были выделены опасные геологические процессы: массивы погребенных льдов, высокопроницаемые зоны фильтрации и разрывные нарушения, которые показали непригодность выбранных площадок для целей размещения объектов производственного назначения, а именно хвостохранилища наливного и намывного типов, так как достаточно высок риск экологического загрязнения окружающей среды циансодержащими хвостами гидрометаллургии и возникновения гидродинамической аварии, основной причиной которых является локальное или полное разрушение ограждающих дамб, вследствие формирования в теле дамб водопроводящих каналов и размыва, которым могут способствовать фильтрационные процессы, даже незначительные землетрясения, деградация толщи многолетнемерзлых пород[6, 8, 13]. Примеры утилизации хвостов на аналогичных предприятиях, в условиях ограничения участка складирования и его расположения над объектами площадки предприятия отсутствуют.

Основным решением для обеспечения безопасного состояния гидротехнических сооружений золотоизвлекательной фабрики является максимально возможное снижение объема жидкой фазы поступающей в емкость накопителя (полигона) совместно с хвостами обогащения.

Действующие технологические схемы сгущения и обезвоживания хвостов на многих предприятиях мира, а также системы обезвоживания большого объема концентратов на крупных металлургических комбинатах, черной и цветной металлургии функционируют достаточно надежно и устойчиво в течение длительного времени.

В качестве наиболее надежных и безопасных вариантов организации хвостового хозяйства могут рассматриваться две технологических схемы хранилища хвостов обогащения и одна – хвостов гидрометаллургии, в том числе:

- Хвостов обогащения:
  - а) В «сухом» виде.
  - б) В пастообразном состоянии, в специальном отсеке, с сохранением замороженного состояния основного массива отходов и грунтов основания.
- в) Хвостов гидрометаллургии – в «сухом» виде, на отдельно расположеннем полигоне.

Дополнительным и положительным фактором предложенных технологий служат также прогнозируемо полное замерзание остаточного объема жидкой фазы сгущенных или «сухих» хвостов, поступающих в хвостохранилище в основной (холодный) период года и потенциально незначительное оттаивание за короткое, северное лето.

2. Организация пруда-накопителя большого объема, для восполнения потерь воды с хвостами и технического водоснабжения фабрики «чистой» водой требует строительства высокой (30-50м) водоудерживающей дамбы с противофильтрационным экраном, системой предупреждения оттавивания основания и повышенной опасностью развития гидродинамической аварии со всеми вытекающими последствиями, в том числе полной остановкой фабрики. Предпочтительным является вариант с основной схемой технического водоснабжения фабрики посредством системы подземных скважин с подачей подмерзлотной воды, имеющейся, согласно данным предварительных изысканий в достаточном количестве в бассейне р. Тыры.

3. Для обоснования технических решений и определения оптимального варианта строительства обязательно необходимо:

- проведение научно-технических исследований по определению сгущаемости и фильтруемости обоих видов хвостов.
- выполнение дополнительных инженерно-геологических изысканий на площадке строительства.
- дополнительное изучение режима и характеристик подземных вод в бассейне р. Тыры.
- определение реологических свойств сгущенных пастообразных хвостов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Т.Н., Липина Л.Н. Обоснование методов обезвреживания цианистых стоков при переработке золотосодержащих руд. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №9/2010. с. 116-121.
2. Бутюгин В.В. Геоэкологические принципы эксплуатации хвостохранилищ в криолитозоне. Вестник РУДН, серия *Инженерные исследования*, 2006, №1(12), с. 140-147.
3. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданинское рудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2001. – 227 с.
4. Глотов В.Е., Л.П. Глотова, А.П. Бульбан, И.Д. Митрофанов. Хвостохранилище Карамкенского горно-металлургического комбината: инженерно-геологические проблемы и причины аварийного разрушения. *Вестник ДВО РАН*. 2010. №3, С.31-39.
5. Евдокимов П.Д., Сазонов Г.Т. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1978. – 439 с.
6. Калашник А.И., Калашник Н.А. Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия. Вестник Кольского научного центра РАН, №1(12)/2013, с.27-30.
7. Кириченко Ю.В., Зайцев М.П., Кравченко А.Н. Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Выпуск 7/2006, с. 116-125.
8. Кузнецов Г.И. Накопители промышленных отходов в криолитозоне: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук (05.23.07) / Красноярский государственный технический институт. Красноярск, 1999 г. 40 с.
9. Пьянников П.В. Лимитирующие техногенные факторы при разработке жильных месторождений в криолитозоне. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Выпуск 1/2007, с. 383-392.
10. Рекомендации по проектированию сооружений хвостохранилищ в суровых климатических условиях / Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВОДГЕО) Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1977. – 152 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 17. Лено-Индигирский район / Под редакцией А.В.Шестакова. Гидрометеоиздат, 1967. 443 с.
12. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 9 с.
13. Федоров А.А., Сисько А.А. Выделение опасных геологических процессов объектов производственного назначения / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 6. с. 64–70.
14. Чуянов Г.Г. Хвостохранилища и очистка сточных вод: Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1998. – 246 с.
15. Шершнев А.А. Технологические схемы складирования хвостов обогащения в подготовленные отвалы вскрышных пород. Международный научно-исследовательский журнал, № 11-3(18)/2013. – с 96-97.

## REFERENCES

1. Aleksandrov T.N., Lipina L.N. *Obosnovanie metodov obezvrezhivaniya tsianistykh stokov pri pererabotke zolotosoderzhashchikh rud* [Substantiation of cyanide effluent neutralization methods during the gold ore processing]. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. no. 9. 2010. pp. 116-121.
2. Butyugin V.V. *Geoekologicheskie printsipy ekspluatatsii khvostokhranilishch v kriolitozone* [Geoenvironmental principles of exploration tailings tips in cryolite zone]. *Bulletin of the Russian University of Peoples Friendship, a series of engineering studies*. 2006. no.1(12), pp. 140-147.
3. Gamyanin G.N., Bortnikov N.S., Alpatov V.V. *Nezhdaninskoe rudnoe mestorozhdenie – unikalnoe mestorozhdenie Severo-Vostoka Rossii* [The ore field Nezhdaninskoe – the unique field of North-East Russia]. Moscow, GEOS Publ., 2001. 227 p.
4. Glotov V.E., Glotova L.P., Bulban A.P., Mitrofanov I.D. *Khvostokhranilishche Karamkenskogo gorno-metallurgicheskogo kombinata: inzhenerno-geologicheskie problemy I prichiny avariynogo razrusheniya* [Karamken mining and smelting enterprise tailings dam: geotechnical problems and causes of accidental destruction]. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2010. no. 3, pp.31-39.
5. Evdokimov P.D., Sazonov G.T. *Proektirovanie I ekspluatatsiya khvostovykh khozyaystv obogatitelnykh fabric* [Design and exploitation of concentrating mills tail facilities]. – Moscow: Nedra Publ., 1978. – 439 p.

6. Kalashnik A.I., Kalashnik N.A. *Issledovaniya o grazhdushchego nasypnogo gidrotekhnicheskogo sooruzheniya kak prototipa damby khvostokhranilishcha gorno-obogatitelnogo predpriyatiya* [Enclosure piled hydro-technical utilities researches as a prototype of miner and processor tailings dam]. *Bulletin of the Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences*, no. 1(12)/2013, pp.27-30.
7. Kirichenko Y.V., Zaycev M.P., Kravchenko A.N. *Inzhenerno-geologicheskie osobennosti formirovaniya khvostokhranilishch* [Engineering-geological features of tailings dam formation] *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. no. 7. 2006. pp. 116-125.
8. Kuznetsov G.I. *Nakopiteli promyshlennykh otkhodov v kriolitozone*: autoref. dis. Na soisk. uchen. step. d-ratekhn. nauk (05.23.07) [Industrial wastes pond in cryolithozone Dr. Diss.] / Krasnoyarsk State Technical Institute. Krasnoyarsk, 1999.40 p.
9. Pyannikov P.V. *Limitiruyushchie tekhnogennye factory pri razrabotke zhilnykh mestorozhdeniy v kriolitozone* [Limiting man-made factors in the development of vein deposits in cryolithozone]. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. Issue 1/2007, pp. 383-392.
10. Vsesoyuzny nauchno issledovatel'skiy institute vodosnabzheniya, kanalizatsii, gidrotekhnicheskikh sooruzheniy inzhenernoy hidrogeologii (VODGEO) Gosstroya SSSR. *Rekomendatsii po proektirovaniyu sooruzheniy khvostokhranilishch v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh* [Union Scientific Research Institute of the water supply, sewage, waterworks and engineering hydrogeology (VODGEO) of the USSR State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy. Recommendations for design of tailings dams in rough environments]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 152 p.
11. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye hidrologicheskie kharakteristiki. Tom 17. Lenino-Indigirskiy rayon [Surface water resources of the USSR. The main hydrological characteristics. Volume 17. Lena-Indigirka area] / edited by A.V.Shestakov. Gidrometeoizdat Publ., 1967. 443 p.
12. SNiP 22-01-95. *Geofizika opasnykh prirodnnykh vozdeystviy. MinstroyRossii* [Construction Norms & Regulations 22-01-95. Geophysics of dangerous weathering. Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation]. Moscow, GP TsPP, 1996. 9 p.
13. Fedorov A.A., Syasko A.A. *Vydelenie opasnykh geologicheskikh protsessov ob'ektorov proizvodstvennogo naznacheniya* [Highlighting the geological hazards of industrial facilities of the deposit «Nezhdaninskoe»] / Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering, vol, 327, № 6, 2016, pp. 64-70.
14. Chuyanov G.G. *Khvostokhranilishcha I ochistka stochnykh vod* [Tailings dam and sewage water treatment]. Ekaterinburg, UGGGA Publ., 1998. 246 p.
15. Shershnev A.A. *Tekhnologicheskie skhemy skladirovaniya khvostov obogashcheniya v podgotovlennye otvaly vskryshnykh porod* [Technological schemes of concentration tailings impoundment into prepared dumps of overburden rocks]. *International Journal of Scientific Research*, no. 11-3(18)/2013. – pp. 96-97.

Поступило в редакцию 26.07.2016  
Received 26 July 2016

**УДК 622.272.6: 519.21**

**МЕТОДИКА, ХОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА  
САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ**

**METHODOLOGY, PROGRESS AND RESULTS OF THE RESEARCH PROCESS  
SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL**

Торро Виктор Оскарович,  
ст. преподаватель, e-mail: torovo@mail.ru

Torro Victor O., senior teacher

Ремезов Анатолий Владимирович,  
д.т.н. профессор, e-mail: lion742@mail.ru

Remezov Anatoly V., Dr.Sc. (Engineering), Professor

Роут Геннадий Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент

Rout, Gennady N., C.Sc. (Engineering), associate professor

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева.

Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация:** На основе аналитического обзора литературных источников, патентных материалов и результатов, выполненных ВостНИИ, экспериментальных исследований с позиций кинетики окисления угля были получены основания для выдвижения рабочей гипотезы о формировании очагов самовозгорания угля. В статье для выяснения сущности отдельных стадий и выдвинутой гипотезы формирования очагов самовозгорания угля, показаны методика и ход исследований процесса самовозгорания угля, направленных на создание физической модели механизма развития этого явления.

**Abstract:** On the basis of analytical review of the literature, patent records and results performed by VostNII, experimental investigations with dispositions of the kinetics of the oxidation of coal were received the grounds for the extension of the working hypothe-SHL about the formation of foci of spontaneous combustion of coal. In the article to clarify the essence of the indi-tion stages and the hypotheses of formation of foci of spontaneous combustion of coal, the method and course of research of process of spontaneous combustion of coal, aimed at creating a physical model of the mechanism of this phenomenon.

**Ключевые слова:** формирование очагов самовозгорания, теплообмен, массообмен, теория сушки, система «уголь – воздух», молекулярная диффузия.

**Keywords:** formation of foci of spontaneous combustion, heat transfer, mass transfer, theory of drying, the system "coal – air", molecular diffusion.

Рассмотрение угольного скопления в выработанном пространстве, образовавшегося в результате ведения горных работ, как образующего совместно с кислородом воздуха, находящегося в рудничной атмосфере, гетерогенную систему «Уголь – воздух» вполне правомерно. Поскольку термодинамическая система это макроскопическое тело, выделенное из окружающей среды при помощи перегородок или оболочек, которые могут быть вполне условными, и состояние которого можно охарактеризовать макроскопическими параметрами: объёмом, температурой, давлением и рядом других.

Термодинамическая система является представительной для оценки свойств и состояния макроскопического тела в том случае, когда она

состоит из достаточно большого числа частиц. Окружающей средой термодинамической системы являются тела, расположенные за её пределами.

В данном случае эта система будет являться по своему характеру гетерогенной, поскольку она состоит из двух гомогенных областей – фаз (уголь, воздух), при переходе через которые химический состав и физические свойства веществ изменяются.

Фазы, составляющие термодинамическую систему, в этом случае отличаются друг от друга по химическому составу и физическим свойствам. На границах их раздела происходит изменение свойств макроскопического тела, в данном случае разрыхленной массы угля. Состояние массы может измеряться параметрами состояния, делящи-