

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Б.ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д.01.22.652

На правах рукописи  
УДК: 536.5.081+624.139.34 (043.3)

**ШЕКЕЕВ КУБАН РЫСПАЕВИЧ**

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СООРУЖЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ  
В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

Специальность: 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

**Автореферат диссертации**  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Бишкек – 2023

Работа выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» КГТУ им. И.Раззакова

Научный руководитель: **Джаманбаев Мураталы Джузумалиевич**  
Член-корр. НАН Кыргызской Республики, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика» Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова

Официальные оппоненты: **Курбаналиев Абдыкерим Ырысбаевич**  
доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедры «Естественных наук и математики» Ошского государственного университета  
**Дыйканова Айнура Тынчыбековна**  
кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедры «Высшая математика и математическое моделирование» Кыргызского национального аграрного университета имени К.И. Скрябина

Ведущая организация: кафедра математики, информатики и технологии обучения Иссык-Кульского государственного университета им. К. Тыныстанова, адрес: 722200, Кыргызская Республика, город Каракол, ул. Абдрахманова, 103

Защита диссертации состоится 29 сентября 2023 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д.01.22.652 при Кыргызском государственном техническом университете имени И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете имени Б. Ельцина, адрес: 720044, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул. проспект Ч. Айтматова, 66, [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, ул. проспект Ч. Айтматова, 66, Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б. Ельцина по адресу: 720000, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул. Киевская, 44 и на сайте [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg)

Автореферат разослан 25 августа 2023 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.ф.-м.н.

Кожошов Т.Т.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы диссертации.** Разработка месторождений, строительство сооружений расположенные в условиях вечной мерзлоты требует специальных исследований по изучению влияния процессов оттаивание и промерзание горных пород и техногенных воздействий на безопасность сооружений и на окружающую среду.

Тепловой режим горных пород формируется в результате процессов тепло- и массообмена с атмосферой, а также техногенными воздействиями. Нарушение теплового режима сооружений расположенные в зоне вечной мерзлоты (хвостохранилища, тела плотины, золоторудные фабрики и т. д.) может привести к потере устойчивости сооружений, которая приведет к колоссальным экономическим и экологическим последствиям. Поэтому исследования температурных и фильтрационных процессов в зоне вечной мерзлоты, совершенствование математических моделей и методов решения задач тепломассопереноса с учетом реальных факторов физических процессов является актуальной и важной научно-исследовательской задачей.

**Связь темы диссертации с научными и правительственными программами.**

- «Математическое моделирование процессов массотеплопереноса и методы их решения», 2012 – 2014гг. Проект по линии Департамента науки МОН КР.
  - Отчет о научно-исследовательской работе «Инновационные технологии решения физико-технических проблем в промышленности Кыргызской Республики», 2013 г.
  - Международный научный проект РФФИ № 14-05-90116 (совместно с Институтом горного дела СО РАН, Новосибирск), 2014-2015гг.

**Целью диссертационной работы является** исследование температурного режима геотехнического сооружения, расположенного в условиях вечной мерзлоты, под влиянием совместного действия различных климатических и техногенных факторов.

**В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие основные задачи исследования:**

- провести исследование при различных вариантах совместного действия климатических и техногенных факторов на изменение температурного режима мерзлого грунта;
- провести численный анализ процесса таяния и промерзания тела плотины и под основанием хвостохранилища, расположенного в зоне вечной мерзлоты;
- провести исследование влияния теплоизоляционной пленки на температурный режим основания и верхнего бьефа дамбы хвостохранилища под влиянием температуры воды в пруду и температуры окружающей среды;
- провести расчет температурных полей отхода комбината, отложенные в виде пульпы на дне хвостохранилища и температурных полей основания хвостохранилища для изучения глубины таяния мерзлого грунта.

### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

- изучено влияние снежного, растительного покрова и рельефа местности на промерзание и протаивание горной породы изучаемой местности;
- численно исследован процесс протаивания основания водоема в зависимости от температуры воды;
- исследовано влияние водонепроницаемой и теплоизоляционной пленки на процесс протаивания основания хвостохранилища и верхнего бьефа тела плотины под влиянием температуры воды в пруду и температуры окружающей среды;
- исследовано взаимовлияние температуры воды, пульпы на процесс таяния основания хвостохранилища;

**Теоретическая и практическая ценность.** Предложенный подход и алгоритм могут служить основой для решения прикладных задач температурного режима сооружений, расположенные в зоне вечной мерзлоты с учетом различных климатических факторов, которая является основой при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений и зданий в зоне вечной мерзлоты.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Результаты исследований влияния различных климатических факторов и техногенных воздействий на температурный режим мерзлого грунта.
2. Закономерности протаивания основания водоема в зависимости от температуры воды в пруду.
3. Результаты исследования влияния теплоизоляционной пленки на температурный режим основания и верхнего бьефа тела дамбы
4. Численное моделирование методом конечных элементов (Comsol) процесса взаимовлияния температуры воды, пульпы на процесс протаивания основания хвостохранилища и тело плотины.

**Личный вклад соискателя** заключается в осуществлении численного анализа, в котором отражены особенности влияния климатических и техногенных факторов, взаимовлияние температурных полей пульпы и основания хвостохранилища. Определены наиболее значимые факторы, влияющие на температурный режим сооружений, расположенных в условиях вечной мерзлоты.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы опубликованы и докладывались на научно-практических конференциях Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Бишкек, 2012, 2013 гг.; в республиканском научно-теоретическом журнале ВАК КР «Наука и новые технологии», Бишкек, 2014 г.; Международной научно-технической конференции молодых ученых «Инновация - вектор для молодежи» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (КГТУ), г. Бишкек, 2014 г., в журнале «Современные проблемы механики сплошных сред» Института геомеханики и освоения недр НАН КР, Бишкек, 2015 г., в журнале «Современная наука. Актуальные проблемы и пути их решения», Липецк, 2016

г., в журнале «Потенциал современной науки», Липецк, 2016 г., в журнале «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», Москва, 2016 и 2017 годов, в международной научно-практической конференции КГТУ, посвященной 65-летию университета, г.Бишкек, 2019 г. на расширенном заседании научно-технического семинара кафедры, Бишкек, 2020 г.

#### **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 1 работа представлена в научно-теоретическом журнале ВАК КР, 1 работа в вестнике молодых ученых, 3 работы в Известиях КГТУ, 4 статьи в журналах РИНЦ Российской Федерации, а также в материалах и трудах Международных научно-практических конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, выводов, списка использованной литературы, содержит 177 страниц текста, 22 таблицы, 47 рисунков, список использованных источников из 116 наименований.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В введении** обосновывается актуальность проблемы, определены цели и задачи, а также основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ изученности вопросов и методов исследования температурных режимов сооружений в зонах вечной мерзлоты, изучены основные факторы, влияющие на температурный режим сооружений в условиях вечной мерзлоты, выполнен расчет глубины промерзания грунта и проведен анализ по определению фактора, оказывающего наибольшее влияние на глубину промерзания и протаивание грунта. Изучен и выполнен расчет по влиянию ветровой нагрузки на глубину промерзания грунта.

Вопросам гидротехнического строительства на северных территориях для нужд гидроэнергетики, водоснабжения, создания хвостохранилищ посвящены работы Г.Ф.Биянова, Н.А.Бучко, Я.А.Кроника, Г.И.Кузнецова, В.Л.Купермана, И.А.Максимова, Ю.Н. Мызникова, Б.А.Оловина, М.П.Павчича, Г.А.Распопина, Е.А.Смирнова, Н.Г.Трупака, Р.В.Чжана.

Расчетами температурного режима гидротехнических сооружений занимались Анискин Н. А., Биянов Г. Ф., Горохов Е. Н., Горохов М. Е., Кочубиевская Р. Л., Соболев С.В., Клейн И. С., Битюрин А. К., Оловин Б. А., Цвик А. М., Максимов И. А., Цыбина А.М., Шугаева Р.Т.

Решениям задач фильтрационных и тепловых процессов, гидротехнического строительства в горных условиях посвящены работы в Кыргызской Республике ученые Ч.Дж. Джаныбекова, А.И. Исманбаева, М.Дж. Джаманбаева, Б.И. Бийбосунова, Чукина Б.А., Чукина Р.Б. и др.

Большая работа в рамках международного научного проекта по изучению температурного режима сооружений в криолитозоне проделана в совместном

международном научном проекте с учеными из Института горного дела Сибирского отделения РАН Л.А. Назаровой, Л.А. Назаровым и кыргызских ученых Джаманбаева М.Дж., Чыныбаева М.К. Совместные исследования посвящены вопросам моделирования процессов тепломассопереноса в окрестности гидротехнических сооружений в криолитозоне.

Во второй главе приведены результаты исследования влияния климатических факторов на процесс промерзания горных пород изучаемой местности.

Для конкретного объекта численно показано влияние снежного покрова на процесс промерзания грунта по формуле Крылова [7].

1. Грунт – суглинок без учета снежного покрова при  $\tau = 5040$  час (210 дней или 7 месяцев холодного периода);  $\theta = 13,4$  °С;  $i = 0,9$ ;  $\alpha = 20,0$  ккал/м<sup>2</sup>·г·час;  $W$  (суглинок) = 15%;  $\gamma_{ск} = 1540$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_m = 2,2$  ккал/м·град·час (из таблицы 4);  $q = 8,3$  ккал/м<sup>2</sup>·ч. Количество тепла, потребное для расплавления всего льда в грунте

$$Q = \lambda_{ск} \frac{W}{100} \cdot i \cdot 80 = 16632 \text{ ккал/м}^3$$

Толщина слоя грунта, эквивалентного по величине термического сопротивления

$$S = \lambda / \alpha = 0,11 \text{ м.}$$

Объемная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии равна

$$C = \gamma_{ск} \cdot 0,20 + \gamma_{ск} \frac{W}{100} \cdot i \cdot 0,50 + \gamma_{ск} \frac{W}{100} (1-i) \cdot 1,0 = 435,05 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{град.}$$

За 7 месяцев при условии отсутствия снежного покрова грунт промерзает до 2.61 м.

2. грунт - суглинок с учетом снежного покрова (толщина снежного покрова меняется в пределах от 20 до 65 см.), При этом данные для расчета такие же, что и для предыдущего случая:  $\tau = 5040$  час;  $\theta = 13,4$  °С;  $i = 0,8$ ;  $\alpha = 20,0$  ккал/м<sup>2</sup>·г·час;  $W$  (суглинок) = 15%;  $\gamma_{ск} = 1540$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_m = 2,2$  ккал/м·град·час;  $q = 8,3$  ккал/м<sup>2</sup>·ч.

В этом случае грунт за такой же период времени грунт замерзает на глубину  $h = 0,92$  м. Достоверность полученных результатов подтверждается результатами расчетов, полученных другими учеными (Лукиянов В.С., Головкин М.Д.). Результаты показывают, что снежный покров оказывает значительное отопляющее воздействие на глубину промерзания грунта.

Выявлен климатический фактор, который оказывает наибольшее влияние среди других на глубину промерзания на основании вычислительных экспериментов. Наибольшее влияние на глубину промерзания грунта оказывает величина теплового потока снизу (уменьшение значения теплового потока снизу на 24% приводит к увеличению глубины промерзания на 12,8% (2,99 м.). Второй фактор, который оказывает наибольшее влияние на глубину промерзания грунта – влажность грунта (уменьшение влажности грунта на 29% приводит к увеличению глубины промерзания грунта на 8,7% (2,85 м.). Наименьшее влияние на глубину промерзания грунта по результатам анализа оказал

коэффициент теплоотдачи поверхности грунта (уменьшение значения коэффициента теплоотдачи поверхности грунта на 20% приводит к уменьшению глубины промерзания на 4,2 % (2,50м.).

Для учета влияния скорости ветра на глубину промерзания для данного объекта использовалась формула исследователей Антарктиды Пола Сайпла и Чарльза Пассела [5]. Результаты расчетов показали, что при скорости ветра, равном 5 км/ч глубина промерзания грунта увеличивается на 17% по сравнению с расчетом глубины без учета ветра. При скорости ветра, равном 10 км/ч глубина промерзания грунта по сравнению с безветренной погодой увеличивается от первоначального значения на 44,7%.

Для оценки влияния растительного покрова на температурный режим проведен вычислительный эксперимент на выше рассмотренном объекте.

Результаты расчета показали, что грунт зимой за 210 дней (7 месяцев) под влиянием растительного покрова промерзает на глубину  $h = 0,89$  м. Это означает, что растительный покров грунта благодаря своему утепляющему свойству уменьшает глубину промерзания. Так, как при отсутствии растительного покрова глубина промерзания равнялась 2,61 м., то наличие растительного покрова снижает глубину промерзания на 66% в отличие от оголенной площадки.

В горных районах с изменением высоты рельефа связано различие состава отложений и их влажности, изменяются мощность снежного покрова, сплошность и видовой состав растительности и т.д., т.е. происходит изменение всех классификационных показателей типов сезонного промерзания (оттаивания) пород.

Значение глубины промерзания, равное 2,61 метрам, соответствует наветренным склонам, где сдувается снег (склонам с выпуклыми формами рельефа). Так как в понижениях из-за влияния ветра накапливается достаточное количество снежной массы, то в таких местах глубина промерзания уменьшится на 64,75% (0,92 м). Так как растительный покров, в отличие от оголенной поверхности накапливает снег, при совместном действии растительного и снежного покровов глубина промерзания уменьшится на 65,9% (0,89 м.).

**Во второй главе** изложены существующие методы исследования влияния климатических факторов на температурный режим процесса протаивания грунта.

К основным климатическим характеристикам, влияющими на процесс протаивания грунтов, исследователи относят: температуру воздуха, солнечную радиацию, высоту снежного покрова, а также рельеф местности, состав и влажность грунтов.

**Оценка влияния различных климатических факторов на процесс протаивания грунта.** Для расчета глубины протаивания грунта применена методика расчета глубины протаивания В.В. Докучаева, И.А. Золотаря, В.Т. Балобаева, так как она учитывает наиболее важные составляющие теплового баланса, такие как радиационный баланс  $R$ , затраты тепла на испарение  $LE$ , температуру грунта и воздуха, коэффициент теплообмена между атмосферой и поверхностью грунта.

Оценка влияния снежного покрова на протаивание грунта. Глубина протаивания рассчитывалась по формуле:

$$\frac{\lambda_T}{Q_3} \cdot t' \cdot \tau = \frac{\lambda_T}{\alpha_k} h + \frac{h^2}{2} \quad (2.1)$$

где

$$t' = t + \frac{R - LE}{\alpha_k} \quad Q_3 = L \cdot g \cdot \left( \frac{W - W_H}{100} \right) \quad (2.2)$$

Здесь:  $Q_3$  – количество теплоты, проходящее через поверхность грунта;  $t$  – средняя температура воздуха;  $R$  – радиационный баланс;  $LE$  – величина испарения;  $\alpha_k$  – коэффициент конвективного теплообмена;  $\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности грунта;  $\tau$  – расчетный период (время);  $L$  – теплота фазового перехода;  $g$  – объемный вес;  $W$  – влажность;  $W_H$  – влажность, соответствующая содержанию не замерзшей воды.

Исходными данными для численного эксперимента послужили данные наблюдений местности и табличные данные [7].

На рис. 1 представлены результаты вычислительного эксперимента, показывающие влияние снежного покрова на глубину протаивания при одинаковых значениях радиационного баланса.

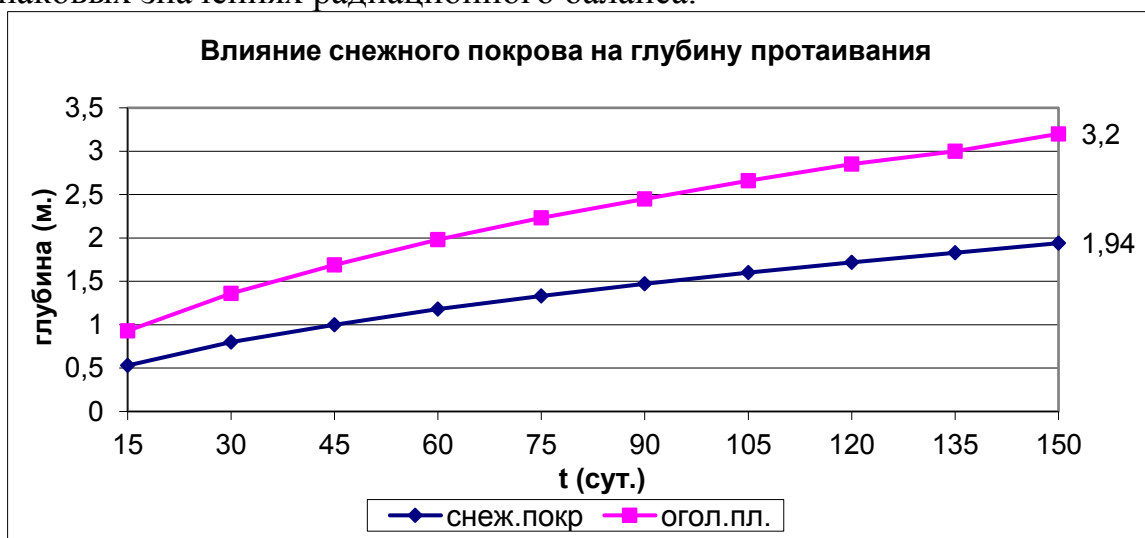


Рис. 1. Влияние снежного покрова на глубину протаивания

Наличие снежного покрова на объекте понижает температуру грунта и соответственно уменьшается глубина протаивания грунта. Из графика видно, что наличие снежного покрова в течении пяти месяцев (с мая по сентябрь) уменьшает глубину протаивания на 39,4% (на 130 см.).

Для оценки влияния растительного покрова на глубину протаивания грунта за коэффициент теплопроводности покрова приняты следующие варианты значения: 0,64; 0,38; 0,27; 0,2 ( $\lambda_T = 1,91$  ккал/ м·град·час – коэффициент теплопроводности грунта).

Исходными данными для численного эксперимента послужили данные наблюдений местности и табличные данные [7].



Исходя из данных численного эксперимента и данных наблюдений по влиянию растительного покрова на температурный режим грунтов можно сделать следующие вывод:

1. растительный покров уменьшает глубину протаивания на 64,6% (на 2,07 м.) по сравнению с оголенной площадкой.

2. совместное действие снежного и растительного покрова также способствует уменьшению глубины протаивания. Глубина протаивания уменьшилась на 58,76% (на 1,88 м.) по сравнению с оголенной площадкой.

3. **Влияние рельефа** на глубину протаивания грунта. Результаты предыдущих расчетов принимались как результаты для горизонтальной поверхности.

Для горизонтальной поверхности при таких исходных данных по формуле (2.1) глубина протаивания достигала 3,2 метров для оголенной площадки и 1,94 метра для площадки со снежным покровом. Если бы горизонтальная поверхность была покрыта растительным покровом, то глубина протаивания достигла бы 1,36 метров для оголенной площадки и 0,8 метра для площадки со снежным покровом.

Согласно экспериментальных данных [4] следует, что для склонов с уклоном  $\approx 40^\circ$ , радиационный баланс на 30% больше, чем горизонтальной поверхности. Используя эти данные можно предположить, что если для горизонтальной поверхности глубина протаивания была равна 3,2 метров, то для откоса с уклоном при значении радиационного баланса, равном  $R=149,5$ , глубину протаивания можно принять равной 3,68 метров для оголенной поверхности и 2,35 метров для площадки со снежным покровом при значении радиационного баланса, равном  $R=88,4$ . Если склон покрыт растительным покровом, то соответственно глубина протаивания при значении радиационного баланса, равном  $R=149,5$  будет достигать 1,57 м. и 0,98 м. при значении радиационного баланса, равном  $R=88,4$ .

В горной местности глубина протаивания будет разной для склонов с различной ориентацией и формой, вследствие неравномерного притока солнечной радиации и распределения снежной массы.

Количество тепла, расходуемое на испарение воды с поверхности земли является одной из составных частей теплового баланса связано с затратами тепла на испарение. В среднем на это расходуется около 80% величины радиационного баланса. Испарение зависит от характера увлажнения подстилающей поверхности и от влажности воздуха.

Затраты тепла на испарение зависят от геофизических свойств местности, ее увлажнения, от географического положения, состояния атмосферы и характера растительного покрова.

**Оценка влияние затрат тепла на испарение** на глубину протаивания грунта. Для расчета использовались характеристики предыдущего объекта и методика расчета.

На рис. 2.2 представлены результаты численного эксперимента по выявлению влияния изменения затрат теплоты на испарения, на глубину таяния

для оголенной поверхности, расположенной на гребне плотины. Как видно из графика уменьшение затрат тепла на испарение (изоляция) приводит к увеличению глубины таяния.

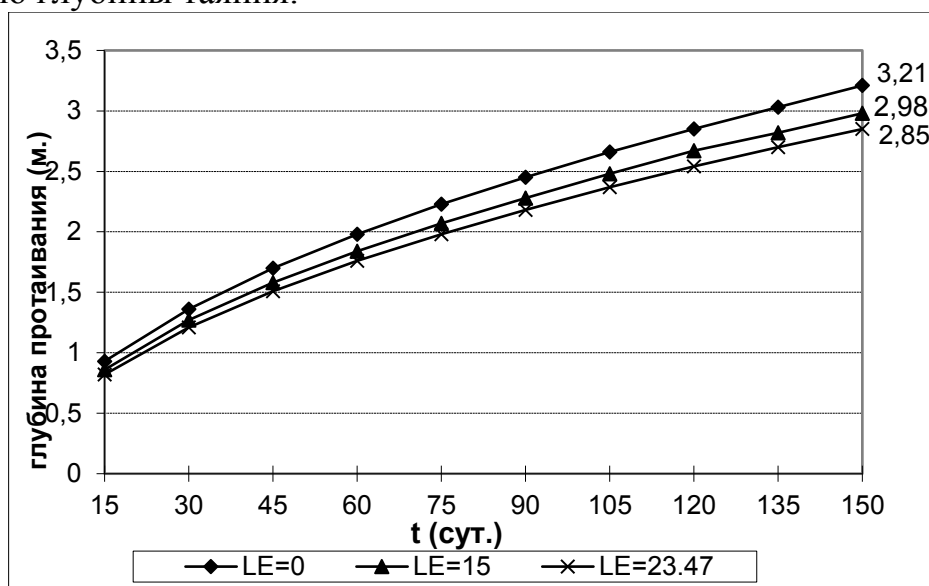


Рис. 2.2. Влияние затрат тепла на испарение на глубину протаивания

В предельном случае при  $LE = 0$ , которая соответствует значению затрат тепла на испарение при пленочной изоляции глубина таяния за сезон достигает до 3,21 м

Результаты расчетов показали, что:

- наличие пленочной изоляции увеличивает глубину протаивания грунта, по сравнению с площадкой без пленки
- если поверхность покрыта растительным покровом, глубина протаивания достигает 1,8 м. (при значении  $\lambda_T=0,64$ ) и 1,36 м (при значении  $\lambda_T=0,38$ ). Это подтверждается сравнением результатов, полученных другими учеными [7].
- Если рассматривать данную поверхность со снежным покровом, то в этом случае протаивание грунта достигнет 1,94 м. Анализ разных случаев для грунта показывает, что наименьшая глубина протаивания достигается в случае совместного действия снежного и растительного покрова.

**Влияние радиационного баланса на процесс протаивания.** Расчеты по вышеприведенной методике показали, что уменьшение значения радиационного баланса на 12% от значения  $R=115$  приводит к уменьшению глубины протаивания на 6%. Увеличение значения радиационного баланса на 30% от значения  $R = 115$  дает нам увеличение глубины протаивания на 15%.

Если известна глубина протаивания для горизонтальной поверхности (3,2 м.), то можно предсказать глубину протаивания для верхнего откоса плотины. При значении радиационного баланса, равном  $R=150$  она будет равна 3,68 м., т.е. за сезон глубина протаивания верхнего откоса достигнет отметки 3,68 м.

Если учесть то, что верхний бьеф плотины (откос) до нижней кромки покрыт полиэтиленовой пленкой, то подставляя в предыдущие расчеты теплофизические характеристики для полиэтиленовой пленки

(теплопроводность – 0,42 Вт/м\*град, теплоемкость – 2100 Дж/кг\*К, плотность – 955 кг/м<sup>3</sup> (Бирюлин Г.В., Егоров В.И.)), получили следующее, что в теплосезонный период (5 месяцев) глубина протаивания составила 1,43 метра для верхнего откоса.

Проведены вычислительные эксперименты для выявления степени **влияния влажности грунта на глубину** протаивания мерзлого грунта.

На рис. 2.3 показаны результаты расчета, показывающие влияние влажности на глубину таяния. Как видно из графика увеличение влажности грунта приводит к замедлению таяния. Это объясняется большой теплоемкостью влажного грунта, чем сухой грунт. Расчеты проводились по формулам (2.1) и (2.2).

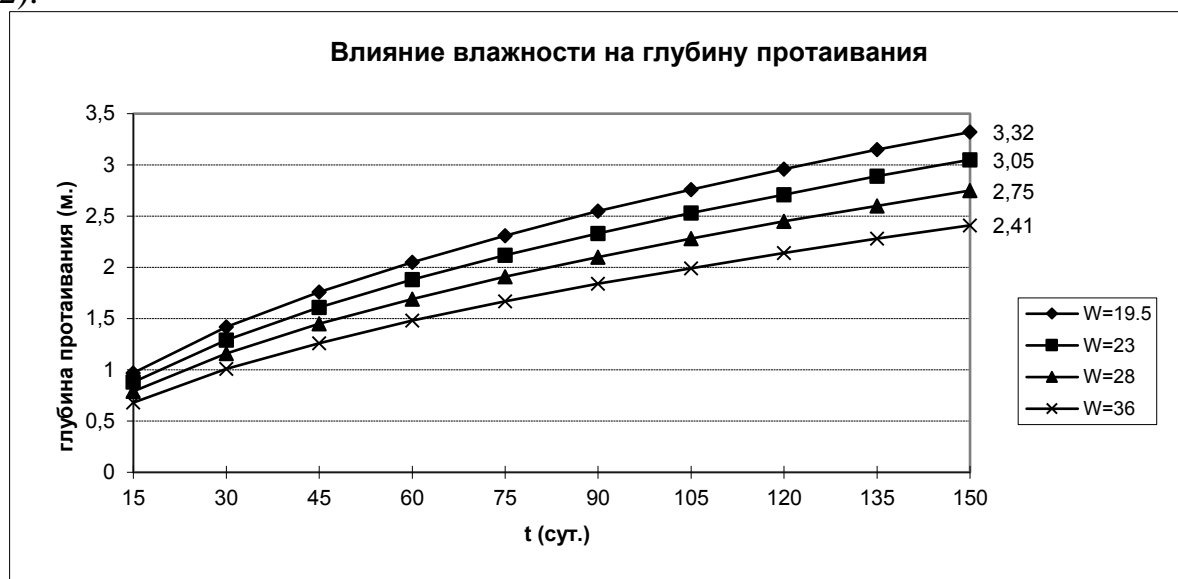


Рис. 2.3. Влияние влажности на глубину протаивания мерзлого грунта для оголенной поверхности.

Влажная почва медленнее нагревается, чем сухая, и более медленно охлаждается.

Увеличение влажности грунта влияет на теплофизические характеристики грунта, так как при этом изменяется не только масса грунта, но и в связи с тем, что вода заполняет самые мелкие поры, увеличивается плотность и значительно улучшается теплопередача. Такая закономерность прослеживается и в экспериментальных данных.

**В третьей главе** выполнены исследования температурных полей отхода комбината, отложенные в виде пульпы на дне хвостохранилища и тела плотины для изучения глубины таяния мерзлого грунта и их взаимовлияния в зависимости от температуры воды в пруде.

Исследование температурного режима хвостохранилища проведена по следующей схеме: вначале исследуется температурный режим хвостохранилища как водоем, образованный на мерзлом грунте. Затем случай когда основание хвостохранилища и верхний бьеф тела плотины покрыты пленкой, затем случай когда основание водоема и верхний бьеф тело плотины подстилан отходами фабрики в виде пульпы различной высоты.

Современные требования к качеству математических расчётов, а также к программному обеспечению с каждым годом возрастает. В наших исследованиях были использованы вычислительные эксперименты с использованием табличного процессора Microsoft Excel, а также программный комплекс Comsol Multiphysics 3.5.

**Методика исследования.** В известных работах ученых А.И. Воейкова, В.Н. Будыко, Г.М. Фельдмана, Н.А. Цытовича, А.В. Павлова процесс теплопереноса в мерзлом грунте моделируется как перенос тепла в сплошной среде без учета фазового перехода. В двумерной постановке как распространение тепла в неоднородной сплошной среде под влиянием температуры придонного слоя воды (рис. 3.1).

Поскольку в начальный момент грунт под основанием считается мерзлым, то теплоперенос в этой среде моделируется уравнением

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (3.1)$$

начальными условиями при  $t=0$ ,  $T(0,x,y) = T_i = \text{const}$ ,  $(x,y) \in D_1$ .

и граничными условиями:

$$T(x,y,0) = T^*(x,y),$$

$$\lambda \frac{\partial T_\Gamma}{\partial x} = 0, \quad (x, y) \in \Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_{11};$$

$$T_\Gamma = -2^\circ \text{C}, \quad x \in \Gamma_2;$$

$$T_\Gamma = T_\epsilon = 4^\circ \text{C}, \quad (x, y) \in \Gamma_4, \Gamma_6;$$

$$T_\Gamma = 8^\circ \text{C}, \quad (x, y) \in \Gamma_7, \Gamma_{9,8,10}. \quad (3.2)$$

Как следует из технического отчета [3] по руднику, дамба хвостохранилища была запроектирована и сооружена с целью урегулирования условий вечной мерзлоты на руднике и согласно стандартам по сейсмической активности в регионе. Дамба хвостохранилища состоит из утрамбованного заполнителя длиной приблизительно три километра. Ширина гребня дамбы составляет десять метров, а боковые откосы составляют приблизительно 3 по горизонтали и 1 по вертикали (3Н:1V). Схематически расчетная область показана на рис. 3.1.

**1. Исследование температурного режима основание водоема, расположенного в зоне вечной мерзлоты.** Для материала дамбы использовались теплофизические характеристики гравийного наполнителя: коэффициент теплопроводности =  $0,4 \div 0,93$  Вт/(м\*град), плотность =  $1850$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость =  $850$  Дж/(кг\*град). (область 1 на рис. 3.2). Размеры дамбы также приближены к реальным данным.

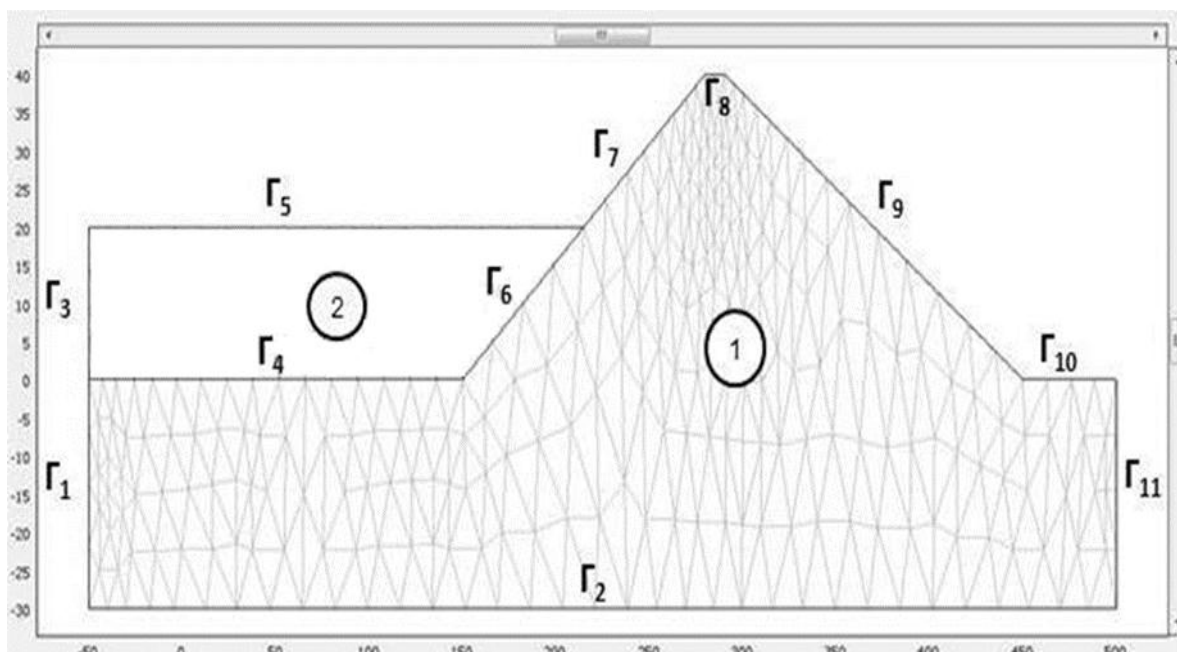


Рис. 3.1. Разбивка области на конечные элементы

Для области 2 использовались теплофизические характеристики воды: коэффициент теплопроводности =  $0,57 \text{ Вт/(м*град)}$ , плотность =  $1000 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкость =  $4204 \text{ Дж/(кг*град)}$ . Начальная температура области дамбы и основания водоема принималась равной  $0^\circ\text{C}$ , а для температуру воды равной  $+4^\circ\text{C}$ . На границе двух сред ставилось условие непрерывности температуры. Расчеты проводились на основе математической модели (3.1), (3.2) с помощью программы COMSOL методом конечных элементов (МКЭ). Область представляет собой прямоугольную форму размера  $70 \times 500 \text{ м}$ . Уровень воды в пруду считалась равной  $20 \text{ м}$ .

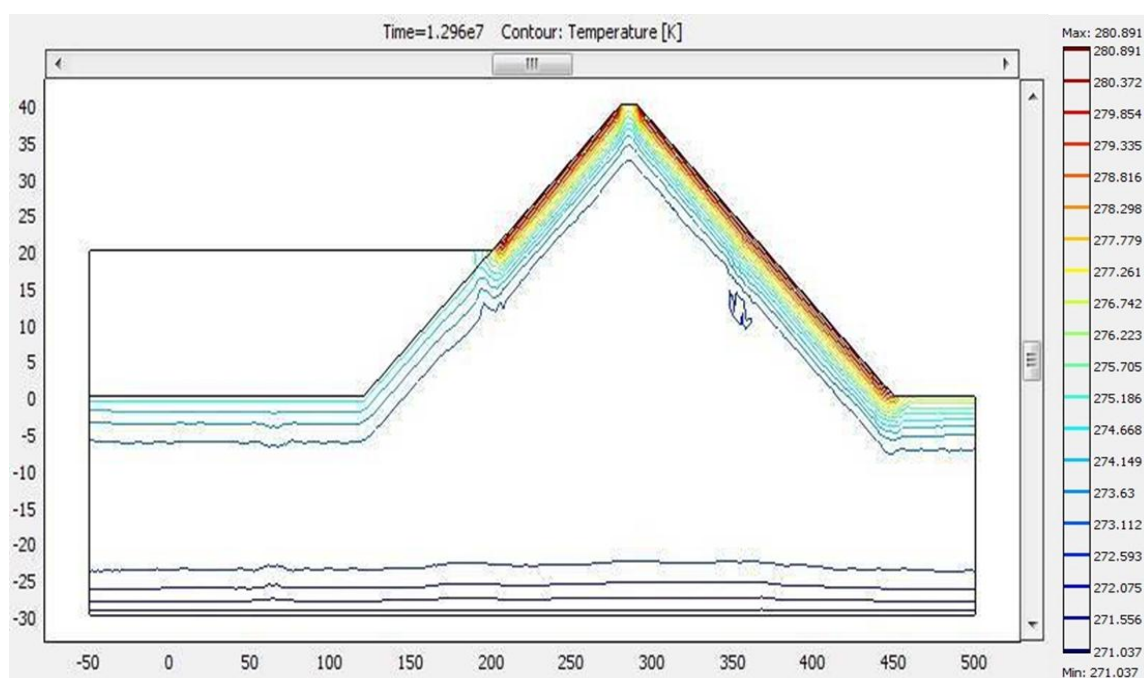


Рис. 3.2. Поле градиента температуры

Для исследования взаимовлияния температуры воды в пруду и основания тела дамбы был проведен численный эксперимент (рис. 3.2.): начальное температурное поле основания дамбы была принята равной (от 0 до  $-2^{\circ}\text{C}$ ). В качестве граничного условия на дне водоема принимались различные значения температуры воды в пруду ( $+2^{\circ}\text{C}$ ,  $+4^{\circ}\text{C}$  и  $+6^{\circ}\text{C}$ ). Расчеты проводились в течении 5 месяцев.

#### **Расчет при разных начальных значениях температуры воды в пруду**

При температуре воды в пруду, равном  $+2^{\circ}\text{C}$ , плюсовая температура распространилась от дна водохранилища  $\Gamma_4$  примерно до 3,0 метров (за 5 месяцев), а на верхнем бьефе  $\Gamma_7$ , граничащее с атмосферой, температура которой принималась равной  $8^{\circ}\text{C}$  доходило до 7,2 м., также на верхнем бьефе  $\Gamma_6$ , граничащей с водоемом плюсовая температура дошла до 3,8 м., на гребне плотины границе  $\Gamma_8$  плюсовая температура распространилась до 6,5 м.

Расчеты по аналитическим формулам во второй главе за такой же период времени дают похожие результаты. Для горизонтальной поверхности при таких исходных данных по формуле (2) глубина протаивания достигала 3,2 метров для оголенной площадки, для откоса с уклоном при значении радиационного баланса, равном  $R=149,5$  глубину протаивания была равной 3,68 метров. Разница между результатами, полученными при использовании аналитической формулы и программного комплекса не превышает 3-6%.

Результаты расчета при других значениях температуры воды в пруду показаны на рис. 3.3 и 3.4.

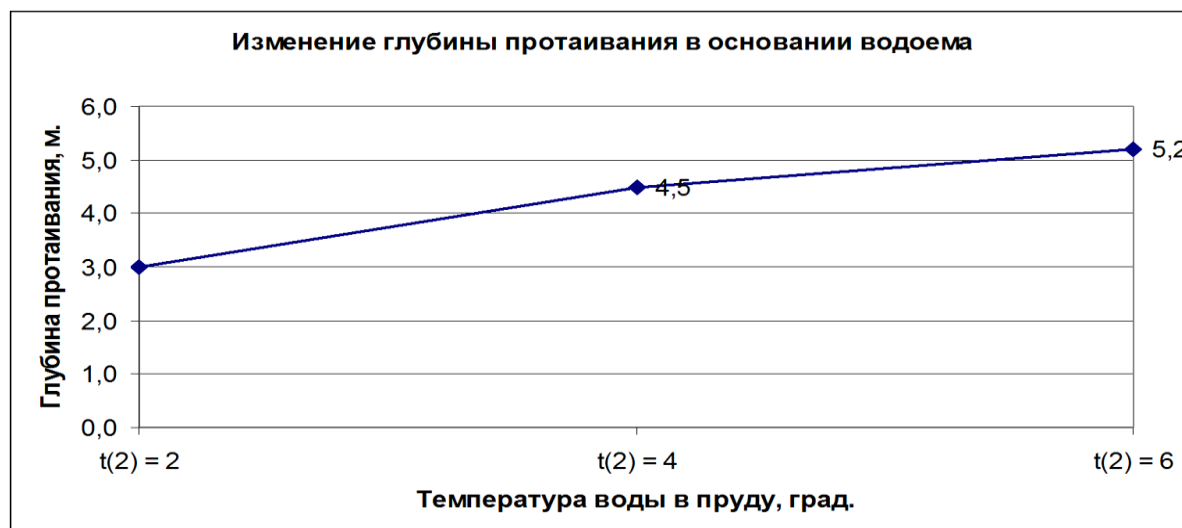


Рис. 3.3. Результаты численного эксперимента при различных начальных значениях температуры воды для основания водоема (за 5 месяцев)

Результаты расчетов показывают, что для основания дамбы (для границы  $\Gamma_4$ ) увеличение начальной температуры воды в пруду на  $2^{\circ}$  ( $+4^{\circ}\text{C}$ ), приводит к увеличению глубины протаивания на 46,7% (4,4м.). Последующее увеличение температуры воды в пруду на  $2^{\circ}$  ( $+6^{\circ}$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 18,2% (5,2м.) за 5 месяцев.

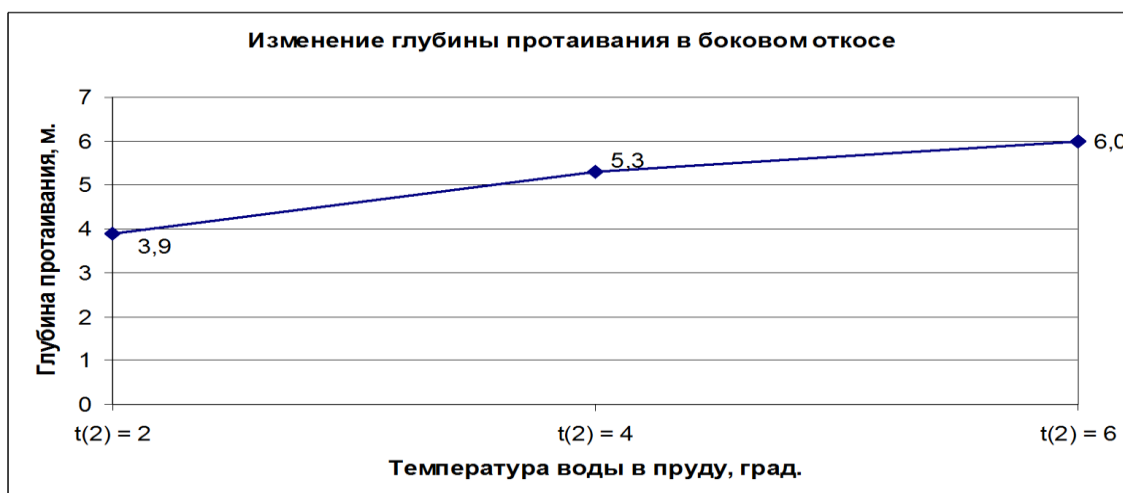


Рис. 3.4. Результаты численного эксперимента при различных начальных значениях температуры воды для бокового откоса (за 5 месяцев)

Для верхнего бьефа, граничащее с водоемом (для границы  $\Gamma_{10}$ ) увеличение первоначальной температуры воды в пруду на  $2^\circ$  ( $+4^\circ\text{C}$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 36,8% (5,2м.) Последующее увеличение температуры на  $2^\circ$  ( $+6^\circ$ ) для этой границы приводит к увеличению глубины протаивания до 5,9м. в течении расчетного времени равной 5 месяцам теплосезонного периода.

**2. Исследование температурного режима основание хвостохранилища под влиянием пленочного покрытия.** Пленка покрывает мерзлую породу для того, чтобы в случае протаивания вода не просочилась сквозь дамбу и основание хвостохранилища. Чтобы учесть влияние пленки на глубину протаивания на соответствующих границах ( $\Gamma_4$ ,  $\Gamma_6$  и  $\Gamma_7$ ) использовалось граничное условие третьего рода.

$$q|_w = \alpha(T_f - T_w) \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $T_f$  – температура флюида;  $T_w$  – температура поверхности тела.

Обычно коэффициент теплоотдачи находят экспериментально. Так, для условий свободной конвекции воздуха:  $5 \leq \alpha \leq 25$  (Вт/м<sup>2</sup>К), воды:  $20 \leq \alpha \leq 100$  (Вт/м<sup>2</sup>К).

Для исследования взаимовлияния высоты воды в пруду и основания тела дамбы при наличии на границах пленочной изоляции был проведен численный эксперимент при следующих условиях, что начальное температурное поле основания дамбы была принята как предыдущем случае, для исследования влияния температуры воды значение температуры воды в пруду было принято равным  $+2^\circ\text{C}$ ,  $+4^\circ\text{C}$  и  $+6^\circ\text{C}$  (область 2) и для каждого случая проводились расчеты.

Результаты расчета при температуре воды в пруду равной  $+2^\circ\text{C}$ . и глубиной водоема равной 10м. плюсовая температура распространилась от дна пруда  $\Gamma_4$  примерно на 3 метра, на верхнем бьефе, граничащей с водоемом  $\Gamma_6$  плюсовая температура дошла до 3,9 м., на верхнем бьефе, граничащей с



атмосферой температура, которой принималась равной  $+8^{\circ}\text{C}$   $\Gamma_7$  плюсовая температура распространилась до 7,8 м.

Расчеты показывают, что за короткий срок влияние пленочной изоляции довольно заметно. За большой период времени (5 месяцев) влияние пленочной изоляции на температурный режим дамбы почти сводится к минимуму. Это подтверждается также результатами других исследователей [7].

Анализ результатов численного эксперимента показывает, что:

1. увеличение значения температуры воды в пруду без учета пленочного покрытия приводит к увеличению глубины протаивания на границах, имеющих соприкосновение с областью воды:

а) для основания водоема

- увеличение температуры воды в 2 раза (от  $2^{\circ}\text{C}$  до  $4^{\circ}\text{C}$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 50% (от 3 м. до 4,5 м.);
- увеличение температуры воды в 3 раза (от  $2^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$ ) приводит к увеличению глубины протаивания на 73,3% (от 3 м. до 5,25 м.);

а) для бокового откоса (верхний бьеф), граничащего с водой

- увеличение температуры воды в 2 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 35,8% (от 3,9 м. до 5,3 м.);
- увеличение температуры воды в 3 раза приводит к увеличению глубины протаивания на 53,8% (от 3,9 м. до 6,0 м.);

### 3. Расчет взаимовлияния температурных полей пульпы и основания дамбы с учетом температуры пульпы.

Под влиянием положительной температуры придонного слоя воды требуется построить температурное поле в двухслойной среде, состоящей из слоя пульпы и мерзлого грунта. Затем произвести расчеты при различных значениях начальной температуры пульпы и температуры грунта основания хвостохранилища. Схематически расчетная область представлена на рис. 3.5.

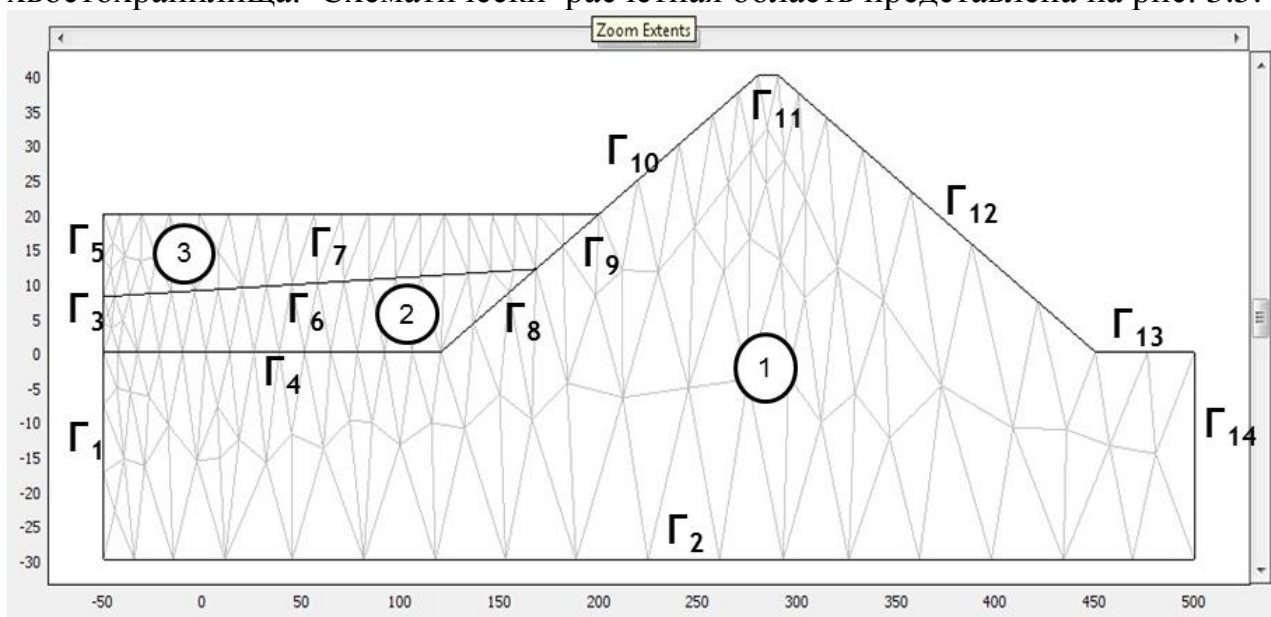


Рис. 3.5. Расчетная область модели



В данном расчете рассматривается перенос тепла отдельно для зоны отложения пульпы и отдельно для зоны грунта основания хвостохранилища, а на стыке границ области ставится условие непрерывности температуры грунта. Математическая модель приведена ниже.

$$C_{\Pi} \rho_{\Pi} \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{\Pi} \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{\Pi} \frac{\partial T_{\Pi}}{\partial y} \right) \quad (3.4)$$

$$C_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{\Gamma} \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial y} \right) \quad (3.5)$$

$$C_{\text{В}} \rho_{\text{В}} \frac{\partial T_{\text{В}}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{\text{В}} \frac{\partial T_{\text{В}}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{\text{В}} \frac{\partial T_{\text{В}}}{\partial y} \right) \quad (3.6)$$

Начальное условие

$$\begin{aligned} T_{\Gamma}(x, y, 0) &= T_{\Gamma 0}, & (x, y) \in D_1 \\ T_{\Pi}(x, y, 0) &= T_{\Pi 0} & (x, y) \in D_2 \\ T_{\text{В}}(x, y, 0) &= T_{\text{В} 0} & (x, y) \in D_3 \end{aligned} \quad (3.7)$$

и граничными условиями

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial T_{\Gamma}}{\partial t} &= 0 & (x, y) \in \Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_5, \Gamma_{14} \\ T_{\Gamma}(x, y) &= T_1 & (x, y) \in \Gamma_2 \\ T_{\Gamma}(x, y, t) &= T_{\text{воды}} & (x, y) \in \Gamma_7 \\ T_{\Gamma}(x, y) &= T_2(x, y) & (x, y) \in \Gamma_4, \Gamma_6, \Gamma_8, \Gamma_9 \\ T_{\Gamma}(x, y, t) &= T_{\text{голд}} & (x, y) \in \Gamma_{10}, \Gamma_{11}, \Gamma_{12}, \Gamma_{13} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Область представляет собой форму размерами 70x500 м, глубина под основанием хвостохранилища составляет 30 м., высота отложения пульпы и воды в пруде принята в разных вариантах (5м., 10м., 15м., 20м. и 25 м.). На границах двух сред ставится условие непрерывности температуры ( $\Gamma_4, \Gamma_6, \Gamma_8, \Gamma_9$ ), на боковых границах области ставится условие отсутствия теплового потока ( $\Gamma_1, \Gamma_3, \Gamma_5, \Gamma_{14}$ ), на дневной поверхности  $+4^{\circ}\text{C}$  ( $\Gamma_7, \Gamma_{11}, \Gamma_{13}$ ), на границах ( $\Gamma_{10}, \Gamma_{12}$ ) ставится значение температуры, равной  $+8^{\circ}\text{C}$ , а на глубине 30 м. от основания хвостохранилища ставится условие вечной мерзлоты ( $\Gamma_2$ ). Средняя температура грунта была поставлена из метеоданных местности. Более высокие температуры пород в летний период характерны для склонов, перпендикулярных к солнечным лучам (около  $30^{\circ}$ ), что обеспечивает большую глубину сезонного оттаивания пород на них. Для боковых откосов мы поставили значение температуры, в 2 раза большее температуры на горизонтальной поверхности. Численная реализация данной математической модели выполнена в пакете Comsol Multiphysics. В проведенном численном эксперименте физические свойства грунтов учитывались в следующем образом: тело дамбы состоит из гравийного наполнителя, коэффициент теплопроводности  $= 0,4 \div 0,93 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{град)}$ , плотность

= 1850 кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость = 850 Дж/(кг\*град). В следующих расчетах за коэффициент теплопроводности грунта тела дамбы мы взяли среднее значение, равное 0,93 Вт/(м\*град). Физические свойства пульпы принимались как усредненное значение физических свойств шлака, коэффициент теплопроводности = 0,29 Вт/(м\*град), плотность = 1000 кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость = 700 Дж/(кг\*град). Из источников известно, что в отличие от сухого грунта влажный грунт имеет коэффициент теплопроводности в 4-5 раз большее значение. Так как пульпа поступает в виде жидкой массы, мы для пульпы примем значение, равное 1,5 Вт/(м\*град). Теплофизические характеристики грунтов взяты из известных табличных данных.

Для исследования взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища проведен следующий численный эксперимент.

1. Проведено вычисление поля температуры грунта области в самом начале, когда еще нет поступления пульпы, а начальное значение температуры грунта области была равна 0. Температура на боковых откосах считалась равной + 8°C, а на дневной поверхности  $T = 4^{\circ}\text{C}$ .

В этом случае, за пять месяцев (теплосезонный период) плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 9,6 метров под воздействием температуры воды (высота воды в пруду равна 10 м.). На боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_6$ ) глубина протаивания достигла 10,1 м. На боковом откосе ( $\Gamma_7$ ) глубина протаивания достигла отметки в 11,0 м.

Этот же расчет в случае, когда начальное значение температуры основания дамбы была принята равной -1°C, а начальное значение температуры воды в пруду было принято равным +2°C, +4°C и +6°C (область 2) дает следующие результаты:

для случая, когда температура воды была равна +2°C за пять месяцев (теплосезонный период) плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 3,0 метров под воздействием температуры воды (высота воды в пруду равна 10 м.). На боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_8$ ) глубина протаивания достигла 3,8 м. На боковом откосе ( $\Gamma_{10}$ ) глубина протаивания достигла 7,2 м.

В случае температуры воды +4°C. Плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 4,4 метров, а боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_8$ ) глубина протаивания достигла 5,2 м.

Когда температура воды была равна +6°C плюсовая температура (фронт таяния) была распространена от основания ( $\Gamma_4$ ) на 5,2 метров, а боковом откосе, граничащем с водой ( $\Gamma_8$ ) глубина протаивания достигла 5,9 м.

Для исследования взаимовлияния высоты и начального значения температуры пульпы были приняты следующие предпосылки :

- а) высота отложения пульпы варьировалась в пределах от 5м. до 25 м.;
- б) начальное значение температуры пульпы равно +2°C, +4°C и +6°C;
- в) начальное значение температуры основания дамбы было принято равной -0°C (область 1).

Результаты расчета при разных начальных значениях температуры пульпы

показано на рис. 3.6.

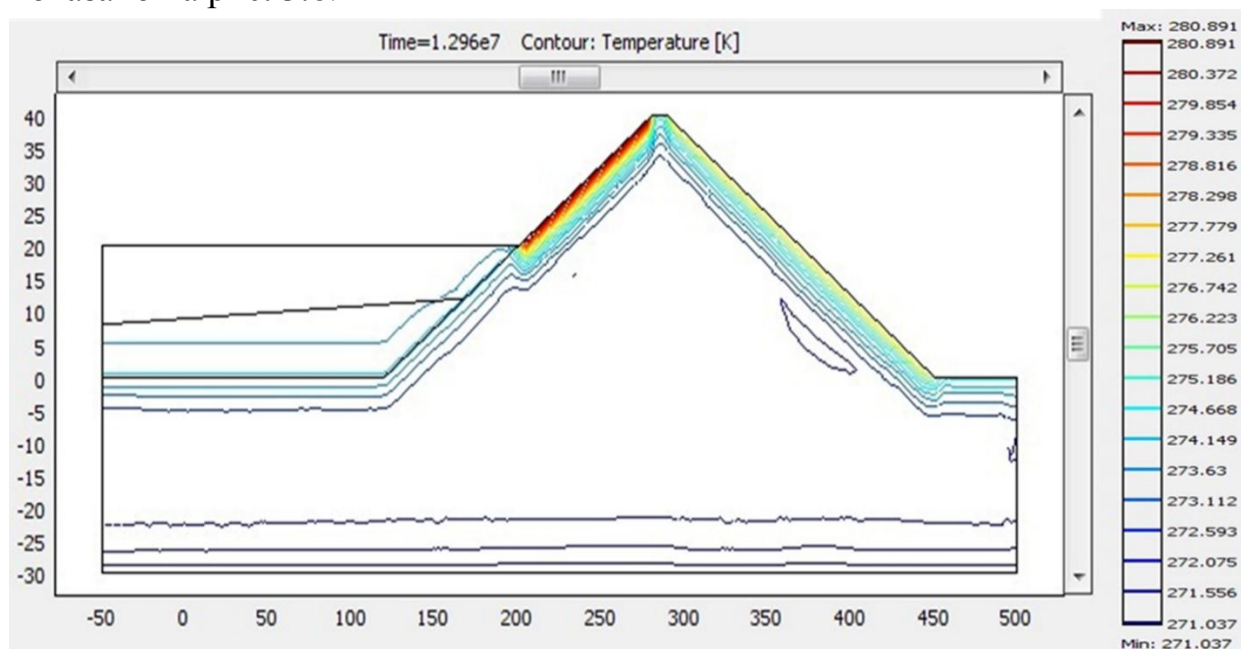


Рис. 3.6. Поле градиента температуры

При температуре пульпы, равном  $+2^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы  $\Gamma_4$  (основание дамбы) приводит к уменьшению глубины протаивания на 20,9% (рис. 3.7.), дальнейшее увеличение высоты отложения пульпы до 15м. приводит к уменьшению глубины протаивания на 5,9% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 10м. При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 15м. до 25м. значение глубины протаивания при высоте пульпы, равном 15м остается постоянной (3,2 м.).

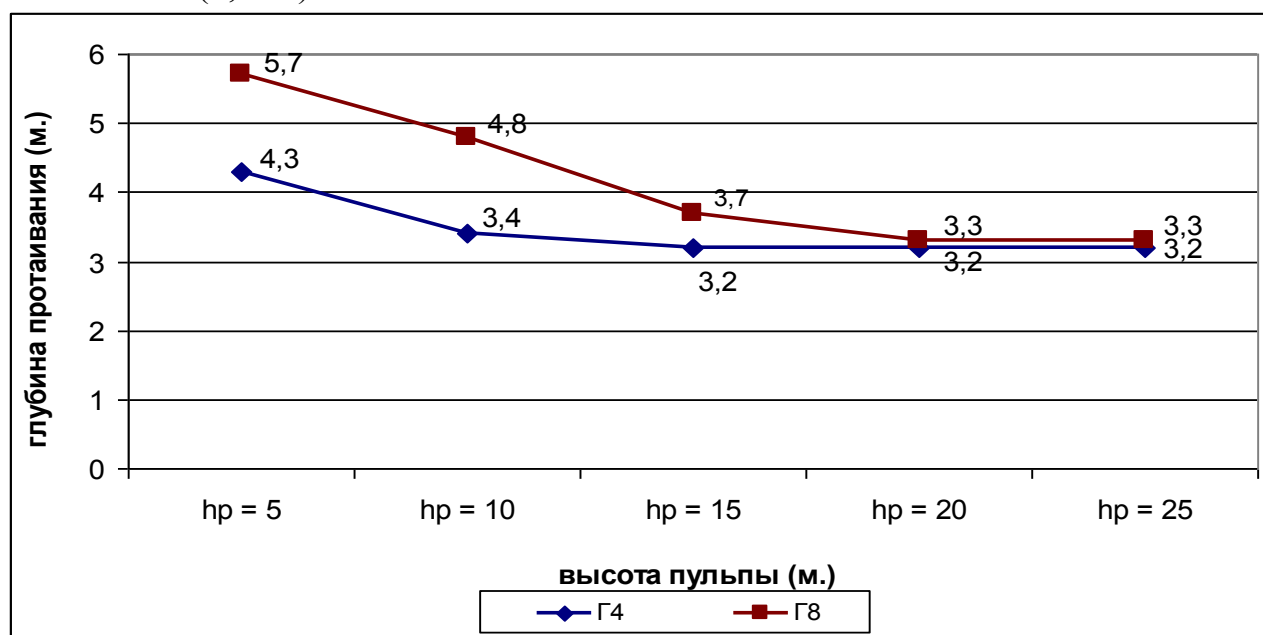


Рис. 3.7. Результаты численного эксперимента при различных значениях высоты пульпы (начальная  $t$  пульпы равна  $2^{\circ}\text{C}$ )

При температуре пульпы, равном  $+2^{\circ}\text{C}$  увеличение высоты отложения

пульпы от 5м. до 10м. для границы Г<sub>8</sub> (боковой откос, граничащий с пульпой) приводит к уменьшению глубины протаивания на 15,7% (0,9м.), дальнейшее увеличение высоты отложения пульпы до 15м. приводит к уменьшению глубины протаивания на 22,9% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 10м. (1,1м.). При увеличении высоты пульпы от 15м. до 20м. приводит к уменьшению глубины протаивания на 10,8% от значения глубины протаивания при высоте пульпы, равном 15м. (0,4м). При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 20м. до 25м. наблюдается выравнивание глубины протаивания на отметке в 3,3м.

При температуре пульпы, равном +4°C увеличение высоты отложения пульпы от 5м. до 10м. для границы Г<sub>8</sub> (основание дамбы) приводит к уменьшению глубины протаивания на 2,1%. При дальнейшем увеличении высоты пульпы от 10м. до 25м. значение глубины протаивания при высоте пульпы, равном 10м остается постоянной (4,6 м.).

Следует отметить, что в начальный период эксплуатации зона оттаивания будет наибольшей, т.е. предельной, так как влияние придонных отложений отходов (пульпа) не учитывалась. В действительности же придонный слой пульпы будет нарастать, и будет оказывать влияние на температурный процесс под основанием водоема. Затем по мере завершения срока эксплуатации зона оттаивания основания водоема будет стягиваться к дневной поверхности, т.к. источник тепла будет удаляться от дневной поверхности с нарастанием мощности намывного слоя.

**Вывод:** Температурный режим основания хвостохранилища сильно зависит от начального состояния температуры основания хвостохранилища и пульпы. Складирование отходов в хвостохранилище целесообразно начинать при мерзлом состоянии основания, для того, чтобы не допустить фильтрацию отходов через основание хвостохранилища.

**4. Расчет при разных начальных значениях температуры пульпы равной +2°C , +4°C и +6°C с учетом пленочной изоляции.** Начальное значение температуры основания дамбы была принята равной -1°C

Расчеты показывают, что для основания хвостохранилища и для бокового откоса, граничащего с водой увеличение высоты отложения пульпы приводит к небольшим изменениям значений глубины протаивания (от 0,1м. до 0,3м.), т.е. наличие пленочной изоляции при больших сроках стабилизирует температурный режим в грунтах.

Увеличение начальной температуры пульпы от 2°C до 6°C при наличии пленочной изоляции на соответствующих границах при большом периоде времени (5 месяцев) стабилизирует процесс теплообмена и имеет одинаковые значения глубины протаивания.

Отсюда можно сделать следующие **выводы для случая хвостохранилища:**

1. в случаях без учета пленочной изоляции с увеличением высоты пульпы наблюдается уменьшение значения глубины протаивания:  
а) для основания хвостохранилища

- увеличение высоты пульпы от 5 до 25м приводит к уменьшению глубины протаивания на 25,6%;

б) для бокового откоса, граничащего с водой

- увеличение высоты пульпы от 5 до 25м приводит к уменьшению глубины протаивания на 42,1% (на 2,4 м.).

2. расчеты с пленочной изоляцией на границах с увеличением высоты пульпы изменяют значение глубины протаивания в пределах до 9 % (от 0,1м. до 0,7 м.) от значений глубин протаивания при отсутствии пленочной изоляции;

3. расчеты с пленкой показали, что температурный режим с пленкой за большой период времени не изменяется, но зато пленка предохраняет дамбу от воздействия фильтрационных течений, которые могут привести к разрушению дамбы;

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шекеев К.Р. Управление процессом взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами. // Известия КГТУ им. И. Раззакова №30, г. Бишкек, 2013. - С. 183-188.
2. Шекеев К.Р. Влияние влажности на температурный режим грунта. // Наука, новые технологии и инновации №1, г. Бишкек, 2014. – С. 10-12.
3. Шекеев К.Р. Численное моделирование протаивания мерзлого грунта под основанием хвостохранилища. // Известия КГТУ им. И. Раззакова №31, г. Бишкек, 2014. - С. 329-331.
4. Шекеев К.Р. Численное моделирование взаимовлияния температурных полей пульпы и основания хвостохранилища. // Современные проблемы механики сплошных сред № 21, г. Бишкек, 2015. - С. 141-148.
5. Шекеев К.Р. Изучение влияния факторов на глубину промерзания грунта. // Потенциал современной науки №3, г. Липецк, 2016, стр. 45-49.
6. Шекеев К.Р. Влияние вида теплообмена поверхности с окружающей средой на протаивание вечной мерзлоты. // Современная наука. Актуальные проблемы и пути их решения №2 (24), г. Липецк, 2016, стр. 8-11.
7. Шекеев К.Р. Исследование влияния климатических и техногенных факторов на температурный режим грунтов. / Джаманбаев М.Дж. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №08, г. Москва, 2016, стр. 7-11.
8. Шекеев К.Р. Исследование влияния фильтрационного потока в зоне протаивающих грунтов. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №1-1, г. Москва, 2017, стр. 30-33.
9. Шекеев К.Р. Оценка степени влияния природных факторов на промерзание грунта. / Джаманбаев М.Дж., Душенова У.Дж. // Известия КГТУ им. И. Раззакова Вып. 2(50), г. Бишкек, 2019. - С. 163-168.

01.02.05 – суюктук, газ жана плазманын механикасы адистиги боюнча физика-математикалык илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденип алуу үчүн Шекеев Кубан Рыспаевичтин «Түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан курулуштардын температуралык режими» темасындагы диссертациясынын

## КЫСКАЧА КОРУТУНДУСУ

**Негизги сөздөр:** температура, температуралык режим, түбөлүктүү тоң, кар катмары, өсүмдүк катмары, шамал, тоңуу тереңдиги, эрүү тереңдиги, дамба, жер туюккап, жер катмары, жер туюккабынын негизи, каптал жак жантаймасы.

**Изилдөө объектиси болуп** түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан курулуштардын эсептелет.

**Изилдөө предмети** болуп сандык үлгүлөөнүн жардамы менен суунун жана пульпанын температураларынын жер туюккабынын температуралык режимине эки жактан бирдей болгон таасир этүүсүн окуп үйрөнүү эсептелет.

**Диссертациянын максаты:** ар түрдүү климаттык жана техногендик факторлордун биргелешип таасир этишинин натыйжасында түбөлүктүү тоңдун шартында жайгашкан геотехникалык курулуштардын температуралык режимин изилдөө.

**Изилдөө ыкмасы:** диссертациялык иште философиялык, теориялык, атайын (сандык үлгүлөө, көп фактордуу анализ) ыкмалар колдонулду.

**Изилдөөнүн илимий жактан жаңычылдыгы:** кар катмарынын, өсүмдүк катмарынын жана аймактын рельефинин жер туюккабынын тоңушуна жана эришине тийгизген таасири изилденди; сандык үлгүлөөнүн жарадамы менен суунун температурасына жараша жер туюккабынын негизинин эриши изилденди; суу өткөрбөгөн жана жылуулук сактоочу пленканын жер туюккабынын негизинин жана абанын температурасы менен суунун температурасынын таасири астында жер туюккабынын каптал жак жантаймасынын эрүү процессине тийгизген таасири изилденди; суунун, пульпанын температурасынын бирдей аракеттенишинин жер туюккабынын негизинин эрүү процессине тийгизген таасири изилденди.

**Колдонуу жааты:** илимий жоболор, алынган жыйынтыктар жана иштелип чыккан методикалар практикалык жана теориялык мааниге ээ, жалпы теориялык жана практикалык деңгээлде илимдин бул жаатындагы кийинки изилдөөлөрдү жүргүзүүгө пайдасын тийгизет, алынган жыйынтыктарды, бүтүмдөрдү жана сунуштарды нормативдик документацияда жана долбоордук ишмердүүлүктө колдонууга болот.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Шекеева Кубана Рыспаевича на тему: «Температурный режим сооружений, расположенных в условиях вечной мерзлоты» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

**Ключевые слова:** температура, температурный режим, вечная мерзлота, снежный покров, растительный покров, ветер, глубина промерзания, глубина протаивания, дамба, хвостохранилище, грунт, основание хвостохранилища, боковой откос.

**Объектом исследования** диссертации являются температурный режим сооружения, расположенные в условиях вечной мерзлоты.

**Предметом исследования** является установление влияния климатического фактора на процесс промерзания и протаивания, а также изучение взаимовлияния температуры воды, пульпы на температурный режим основания и дамбы хвостохранилища с помощью численного моделирования

**Целью диссертации** является исследование температурного режима геотехнического сооружения, расположенного в условиях вечной мерзлоты, под влиянием совместного действия различных климатических и техногенных факторов.

**Методы исследования:** в диссертационной работе использовались философские, общенаучные, теоретические, специальные (численное моделирование, многофакторный анализ).

**Научная новизна исследования:** изучено влияние ветра, снежного, растительного покрова и рельефа местности на промерзание и протаивание тела плотины хвостохранилища; численно исследовано протаивание основание водоема в зависимости от температуры воды; исследовано влияние водонепроницаемой и теплоизоляционной пленки на процесс протаивания основание хвостохранилища и верхнего бьефа тела плотины под влиянием температуры воды в пруде и температуры окружающей среды; исследованы взаимовлияния температуры воды, пульпы на процесс протаивания основание хвостохранилища.

**Область применения:** научные положения, полученные результаты и разработанные методики имеют практическое и теоретическое значение, и могут служить для дальнейших исследований в данной области науки на общетеоретическом и практическом уровнях, сформулированные выводы и предложения могут быть использованы в нормативной документации и проектной деятельности в соответствующих предприятиях.



## SUMMARY

dissertations of Shekeev Kuban Ryspaevich on the topic: "Temperature regime of structures located in permafrost conditions" for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in specialty 01.02.05 - mechanics of liquid, gas and plasma

**Key words:** temperature, temperature regime, permafrost, snow cover, vegetation cover, wind, freezing depth, thawing depth, dam, tailing dump, soil, tailing dump base, side slope.

**The object of research** of the dissertation is structures located in permafrost conditions.

**The subject of the research** is the study of the mutual influence of water temperature, pulp on the temperature regime of the tailing dump using numerical modeling

**The aim of the dissertation** is to study the temperature regime of a geotechnical structure located in permafrost conditions, under the influence of the combined action of various climatic and technogenic factors.

**Research methods:** in the dissertation work, philosophical, general scientific, theoretical, special (numerical modeling, multivariate analysis) were used.

**Scientific novelty of the research:** the influence of snow, vegetation cover and terrain on the freezing and thawing of the body of the tailings dam; the thawing of the base of the reservoir was numerically investigated depending on the temperature of the water; the influence of a waterproof and heat-insulating film on the thawing process of the base of the tailing dump and the upper head of the dam body under the influence of the temperature of the water in the pond and the ambient temperature was investigated; investigated the mutual influences of water temperature, pulp on the thawing process of the tailing dump base.

**Scope:** scientific provisions, the results obtained and the developed methods have practical and theoretical significance, and can serve for further research in this field of science at the general theoretical and practical levels, the formulated conclusions and proposals can be used in normative documentation and project activities.