

**XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

# **НОВЫЕ ИДЕИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ**

**3 – 4 АПРЕЛЯ 2025 г.  
МОСКВА**



**ТОМ 7**

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**Инженерные изыскания  
для строительства**



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

УДК 082 + [550.8+553] (082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Новые идеи в науках о Земле: в 9 т. Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» - М.: Издательство МГРИ, 2025.

Т. 7: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА / ред. коллегия:  
Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. - М.: Издательство МГРИ, 2025 – 142 с.

ISBN 978-5-907595-10-1

УДК 082 + [550.8+553] (082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

ISBN 978-5-907595-07-1 (Том 7)

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 7. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА .....	5
Подсекция 7.1. Инженерная геология .....	5
Клоков И.А.*, Горбатов Е.С. Дифференцированный анализ интенсивности палеоземлетрясений по структурно-литологическим параметрам конволюций в озёрных комплексах .....	5
Пешкин Е.С.*, Халимьянов А.З., Гравис А.Г. Изменение деятельного слоя в северной криолитозоне Западной Сибири.....	9
Прасолов А.А.* Сравнительная характеристика предельных дефицитов устойчивости на нефте- и газопроводы на примере оползней, инициированных слабой сейсмичностью .....	13
Туляганов Б.И.*, Ходжибаев А.Н. Оползневые явления в Узбекистане в условиях поступательного потепления климата .....	17
Сосницкий Л.И.*, Кауркин М.Д. Комплексные инженерно-геофизические исследования участка расширения Восточно-Сибирской железной дороги для целей сейсмического микрорайонирования.....	21
Шозиёев Ш.П.* , Аминзода П., Сафаралиев Н.С. К вопросу определения спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте.....	25
Лукина Е.С.*, Поспехов Г.Б. Современное состояние и направления развития физического моделирования на эквивалентных материалах в инженерно-геологических прогнозах .....	29
Ярг Л.А. Формация латеритная кора выветривания экваториальных стран и её трансформация.....	33
Е Хтет Зо, Ярг Л.А. Оценка Сложности Инженерно-Геологических Условий Трассы Скоростной Железной Дороги Янгдн-Нейпыдо .....	37
Ней Ла, Ярг Л.А. Программа организации мониторинга г. Янгона .....	41
Хтет Мьят Аунг, Ярг Л.А. Факторы риска строительства сооружений в г. Нейпыдо .....	45
Камара А.С.* , Ярг Л.А. Структуры, состав и свойства бокситоносной коры выветривания Гвинеи.....	49
Бахронов А.И.*, Фоменко И.К. Применение классификации RMR и метода конечных элементов для анализа устойчивости тоннеля Рогунской ГЭС .....	53
Грязнов Д.С., Фоменко И.К. Методика проведения расширенного псевдостатического анализа устойчивости склона (на примере оползня р. Лазовая, Сахалин) .....	57
Гусев Д.Н.*, Горобцов Д.Н. Котлован: от модели к мониторингу.....	61
Володин А.В.* , Алексеев А.Г., Гречищева Э.С., Ионова О.В. Влияние шероховатости поверхности сваи на сопротивление грунта срезу по поверхности смерзания.....	65
Голубкова Я.А.* Составление схематической крупномасштабной геологической карты дочетвертичных отложений г. Костромы.....	69
Петров Н.А.* Исследование возникновения просадочных свойств грунтов при их засолении.....	73
Серочкина Е.А. Опасности развития подводных оползней на территории Северного Каспия: Угроза инфраструктуре и экосистеме .....	77
Шатохин К.А.* Оценка опасности экзогенных геологических процессов на Байкальской природной территории .....	81
Николаева П.А.* , Кравцов М.А., Буфеев Ф.К. Инженерно-геологические условия ИПТС объекта культурного наследия регионального значения «Усадьба Шереметевых» в респ. Марий Эл.....	85
Кутняк К.В.* , Гудошников К.О., Буфеев Ф.К. Инженерно-геологическая оценка состояния ИПТС деревянной церкви Вознесения Господня 1651 года в д. Пияла Онежского района Архангельской области.....	89

Паславская А.Р.*, Капитанов А.Д., Буфеев Ф.К. Анализ причин деформаций объекта культурного наследия федерального значения оранжереи в парке Кузьминки.....	93
Кириченко А.С. Анализ влияния инженерно-геологических условий на развитие деформаций памятников архитектуры в г. Старица, Тверской области .....	96
Левкович-Маслюк М.И.* Разработка системы геотехнического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации детского технопарка в г. Новый Уренгой.....	100
Николенко И.А.*, Кулешов А.П. Анализ результатов динамических испытаний грунтов сваями на примере «КЦ-2 КС Тосненская» .....	103
Никишина Т.А.* Линейные сооружения как индикаторы оползневых деформаций (на примере Печерского Вознесенского монастыря в г. Нижний Новгород).....	107
Подсекция 7.2. Геодезия и кадастры .....	111
Дамрин А.Г. Об использовании аэрофотосъёмки в минерально-сырьевом комплексе .....	111
Лепехин П.П.*, Мурашева А.А., Окаёмова Е.С. Оценка экологического состояния земель на основе данных ДЗЗ .....	115
Пономарев А.А.* Геодезические методы мониторинга экзогенных геологических процессов.....	119
Федорова А.Р.*, Дамрин А.Г Геодезические работы для комплексного благоустройства территории строящейся школы г. Раменского Московской области.....	123
Широков Р.С. Разработка и апробация инновационных методов сбора (цифровизации) и обработки информации для целей современного землеустройства .....	127
Широков Р.С.*, Флотский И.А. Анализ космических снимков с целью определения динамики прибрежно-морской области .....	131
Санакулов У.К., Эргашев У.А. Опытное-промышленное испытание способа переработки кислых сбросных растворов процесса биоокисления сульфидных флотоконцентратов: экологический аспект.....	135
Санакулов К., Хамроев И.О. Кинетика и трансформация углеродистого вещества в золотосодержащих рудах: влияние на переработку и извлечение золота .....	139

## **СЕКЦИЯ 7. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **Подсекция 7.1. Инженерная геология**

#### ***Дифференцированный анализ интенсивности палеоземлетрясений по структурно-литологическим параметрам конволюций в озёрных комплексах***

***Клоков И.А. \* (ИФЗ РАН, [ilia.klokov@mail.ru](mailto:ilia.klokov@mail.ru)),  
Горбатов Е.С. (ИФЗ РАН, [e.s.gor@mail.ru](mailto:e.s.gor@mail.ru))***

#### **Аннотация**

Разработанная структурно-литологическая типизация конволюций (складчатых деформации сейсмического разжижения осадков) послужила основой для создания комплексного метода палеосейсмологической параметризации конволюций в озёрных комплексах по параметру «сейсмическая интенсивность». Благодаря созданию каталога конволюций из 31 региона мира мы предложили шкалу сейсмической интенсивности, где каждый тип конволюций создаётся при определённой  $I_{\Delta min}$ ,  $I_{0 min}$ , а выведенная авторами эмпирическая зависимость по усреднённому коэффициенту синформности ( $K_s$ ) конволюции позволяет определить эпицентральную интенсивность. Также получена экспертная визуализация, что позволяет оценить минимальную эпицентральную интенсивность, зная структурно-литологический тип конволюции, местоположение (до 100 км) эпицентра. Данные методы существенно уменьшают экономические издержки при оценке долгосрочной сейсмической опасности и повышают точность прогноза.

#### **Ключевые слова**

Сейсмогенные конволюции, структурно-литологический тип, коэффициент синформности, палеоземлетрясения, оценка сейсмической опасности

#### **Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках темы госзадания FMWU-2025-0039 ИФЗ РАН.

#### **Теория**

Оценка палеосейсмичности (поиск, параметризация древних землетрясений) разных районов Земли является актуальной задачей, т.к. позволяет выверенно вкупе с данными современной сейсмичностью оценивать сейсмоопасность территории. Данные методики базируются на исследовании палеосейсмодислокаций на поверхности Земли. С конца XX века многие специалисты начали создавать различные методики параметризации палеоземлетрясений, которые основываются как на морфологических и метрических параметрах отдельных деформаций разжижения в рыхлых отложениях, так и на пространственных характеристиках их распространения [по Zhong et al., 2021]. Но они пренебрегают литологическими характеристиками деформаций, слабо учитывают индивидуальные особенности каждого класса сейсмиков.

Вышеописанные проблемы в нашем исследовании мы частично решаем благодаря созданию методики параметризации палеоземлетрясений по пликативным конволюционным структурам (далее «конволюции») разжижения в рыхлых (озёрных) отложениях (рис. 1). Данные структуры, при их соответствии критериям сейсмогенности [Корженков и др., 2014], являются хорошим индикатором как для оценки интенсивности палеоземлетрясений, так и оценки сейсмоопасности исследуемой территории в целом, т.к.: 1) Конволюции широко распространены во всех регионах мира; 2) Низкий порог чувствительности этих образований

к сейсмовибрационным воздействиям; 3) Резкое различие пороговых значений сейсмических воздействий при формировании конволютных деформаций в зависимости от состава и от особенностей стратификации [Горбатов, 2023].



Рисунок 1. Пример конволютных структур на берегу р. Иркут. 1-слои супесей и суглинков; 2-средне-крупнозернистые пески [Гладков и Лунина, 2010]

Исходя из вышеизложенного на первом этапе одним из авторов [Горбатов, 2023] была разработана структурно-литологическая типизация (SC) сейсмогенных конволюций по сочетанию критериев разжижаемость (легкая/тяжелая), стратификация по плотности (устойчивая/неустойчивая). В результате было выделено 4 типа конволюций (A, B, C, D), где тип A наиболее легковоспроизводимый тип (лёгкая разжижаемость: слагают пески или алевролиты; неустойчивая стратификация: более грубый состав верхнего деформируемого слоя), тип D-воспроизводится наиболее трудно (тяжёлая разжижаемость: слагают грубообломочные, глинистые, карбонатно-глинистые, органоминеральные породы; устойчивая стратификация: более дисперсный или оторфованный состав верхнего горизонта), B и C-промежуточные типы.

Далее, предположив, что созданию каждого структурно-литологического типа соответствует тот или иной порог сейсмической интенсивности, по литературным данным мы создали представительный каталог, включающий 75 конволюций из 31 региона мира, куда заносились состав стратифицированных осадков, морфология и вертикальная мощность ( $H$ ), структурно-литологический тип (A-B-C-D), коэффициент синформности складок ( $K_s$ -отношение ширины смежной синформной к антиформной складки), возраст, сейсмическая интенсивность в точке исследования ( $I_d$ ) и в эпицентре ( $I_0$ ), эпицентрально расстояние ( $R$ ).

Для полного анализа структурных взаимосвязей внутри массива данных (каталога) между  $I_d$ ,  $I_0$  структурно-литологическими и морфологическими параметрами конволюций ( $L$ -разжижаемость осадков,  $S_d$ -стратификация по плотности и составу, SC-тип конволюций,  $K_s$ -коэффициент синформности) определены парные коэффициенты корреляции этих значений благодаря использованию функции «КОРРЕЛ» в Excel. При этом для оценки не метрических структурно-литологических параметров и адекватного исследования корреляции как с ранговыми (баллы сейсмической интенсивности), так и метрическими параметрами ( $K_s$ ;  $H$ ) использовалась порядковая шкала, т.е. различным категориям ранговых параметров присваивалось целочисленное значение, отражающее порядковые отношения. Введена ранговая цифровая оценка следующих параметров:  $L$  («легкая разжижаемость» = 1; «тяжелая» = 2);  $S_d$  («неустойчивая» = -1; «неопределённая» = 0; «устойчивая» = 1); SC (A-D), тождественный типу: Тип A ( $L=1$ ;  $S_d=-1$ ) соответствует SC=1; B (1; 1) это SC=2; C (2; -1) это SC=3; D(2; 1) это SC=4; SC=1,5 или 2,5, 3,5, то это означает вариативность типа конволюций (напр. A-B) в связи с неопределённостью показателя  $S_d$ . Анализ полученной корреляционной матрицы показывает, что параметр SC имеет сильную и умеренную корреляционную связь с

« $I_0$ » ( $r=0.536$ ), с « $I_{\Delta}$ » ( $r=0.392$ ). А коэффициент синформности имеет слабую корреляционную связь с эпицентральной интенсивностью ( $r=-0.158$ ).

Так как была отмечена довольно высокая парная корреляция между « $I_{\Delta}$ ; SC», « $I_0$ ; SC», то на основании массива данных были определены пороговые (min, max), средние местные и эпицентральные значения интенсивности для каждого структурно-литологического типа (табл. 1).

Таблица 1. Пороговые и средние значения интенсивности местной и эпицентральной для формирования различных типов конволюций

Структурно-литологический тип конволютных складок	Сейсмическая интенсивность, баллов по шкале MSK-64:					
	Местная ( $I_{\Delta}$ ) (n=26)			Эпицентральная ( $I_0$ ) (n=25)		
	min	сред.	max	min	сред.	max
A	<b>5</b>	7.29	9	<b>6</b>	7.25	11
B	<b>6</b>	7.83	9	<b>6</b>	7.83	11
C	<b>6-7</b>	7.91	10	<b>6-7</b>	7.89	10
D	<b>8</b>	8.71	11	<b>8-9</b>	9.67	11

Минимальные пороговые величины ( $I_{0min}$ ,  $I_{\Delta min}$ ) показывают значительную дифференциацию в ряду типов конволюций со средней степенью роста 1 балл (таблица 1). Это означает пригодность данных значений для создания шкалы сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций (табл. 2).

Таблица 2. Шкала сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций, MSK-64

Сейсмическая интенсивность		Характеристика конволютных структур в толщах субаквальных осадков
( $I_{\Delta min}$ )	( $I_{0min}$ )	
5 и менее	6 и менее	Присутствие в разрезах только конволюций типа А в неустойчивой двухслойной системе «песок на алевролите», «песок на супеси»
6	6	Появление в разрезах конволюций типа В в системе «алеврит на песке», «супесь на песке»
6-7	7	Появление в разрезах конволюций типа С в системе «гравийно-галечники на дисперсном грунте», «дисперсный грунт на глине»
8 и более	8-9	Появление в разрезах конволюций типа D в наиболее устойчивой системе «дисперсный грунт на гравийно-галечниках», «глина на дисперсном грунте»

Опираясь на созданную шкалу, а также массив данных (брали данные структурно-литологического типа, эпицентральной интенсивности, эпицентральное расстояние) из 31 региона мира, нами были получены точечные экспертные визуализации по величинам « $I_0$ , R» для каждого структурно-литологического типа, которые по огибающей кривой позволяют (зная структурно-литологический тип, местоположение эпицентра) оценить минимальную эпицентральной интенсивности в отдалённой (до 100 км) от эпицентра точке (рис. 2).

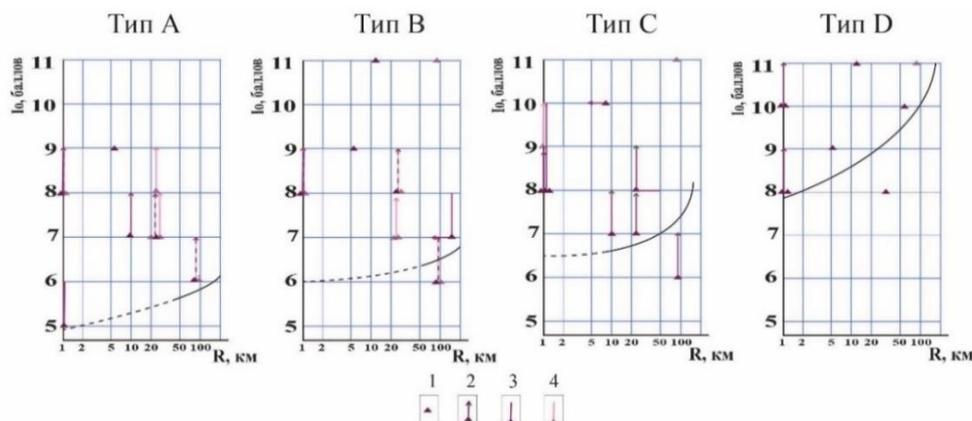


Рисунок 2. Экспертная визуализация «интенсивность в эпицентре, эпицентральное расстояние» при формировании конволюций. Условные обозначения: 1. Точные значения; 2-открытые и 3-закрытые интервалы; 4- точно не выявленный тип конволюций (напр. В-Д)

Сравнительно высокий коэффициент парной корреляций коэффициента синформности отдельных конволюционных структур с эпицентралью интенсивностью ( $r=0.534$ ) указывают на наличие эмпирической регрессионной зависимости между ними:

$$I_0 = 9.265 - 1.043 K_s, \text{ при } K_s \geq 0.5; R^2 = 0.285. \quad (1)$$

### Выводы

В результате, разработан дифференцированный анализ интенсивности по структурно-литологическим параметрам конволюций, что основан на: 1) Шкале сейсмической интенсивности на базе типизации конволюций; 2) Экспертной визуализации, которая позволяет оценить минимальную эпицентральную интенсивность в отдалённой (до 100 км) от эпицентра точке; 3) На эпицентралью интенсивности, которая определяется в зависимости от значения  $K_s$ . Благодаря комплексности нашего метода обеспечивается точность исходных данных для оценки сейсмоопасности, а распространённость, простота поиска и анализа конволюций обеспечивает методу конкурентное преимущество.

### Библиография

1. Гладков А.С., Лунина О.В. Сейсмичность юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1, №. 3. С. 249–272
2. Горбатов Е.С. Структурно-литологическая диагностика сейсмогенных конволюций в озерных комплексах // Вопросы инженерной сейсмологии. 2023. Т. 50, № 2. С. 111–128.
3. Корженков А.М., Аванесян М.А., Вирджино А., Караханян А.С. Сейсмогенные конволюции в четвертичных отложениях озера Севан (Армения) //Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – №. 1. – С. 56-65
4. Zhong N Jiang, H., Li, H., Su, D., Xu, H., Liang, L., & Fan, J. The use of soft-sediment deformation structures as proxies for paleoseismic activity and shaking: A review. – 2021.

## *Изменение деятельного слоя в северной криолитозоне Западной Сибири*

*Пешкин Е.С.\* (Тюменский Индустриальный университет, pehkin3418@mail.ru),  
Халимьянов А.З. (ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, alfa2066@yandex.ru),  
Гравис А.Г. (ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, МГРИ, ag.gravis@gmail.com)*

### **Аннотация**

Режимные наблюдения за изменением мощности деятельного слоя в южной тундре Западной Сибири в 2023-2024 гг., выполненные при участии студенческого отряда ИКЗ ТюмНЦ СО РАН и анализ архивных материалов позволили установить, что под влиянием потепления климата происходит быстрое (до 7 см в год) опускание кровли многолетнемерзлых грунтов. Глубина протаивания увеличилась за 16 лет в среднем на 30%. Выявлены локальные участки с глубиной протаивания более 2 м и участки, на которых мощность деятельного слоя составляет 0,5-0,6 м.

### **Ключевые слова**

Максимальная глубина протаивания пород, потепление климата, южная тундра, глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород, северная криолитозона

### **Источники финансирования**

Исследования выполнены при участии студенческого отряда в ходе практики, руководителем которой являлась О.Е. Пономарева - старший научный сотрудник ИКЗ ТюмНЦ СО РАН. Выезд студенческого отряда к месту работ и выполнение технического задания осуществлялся при финансовой и логистической поддержке Научного центра изучения Арктики.

### **Актуальность исследований**

Главной задачей студенческого отряда было продолжение режимных наблюдений за глубиной сезонного протаивания грунтов, начатых в 2008 г. сотрудниками ИКЗ ТюмНЦ СО РАН. Целью наблюдений является выявление темпов увеличения глубины протаивания грунтов под влиянием потепления климата. Криолитосфера достаточно инертна, ее реакция на повышение температуры воздуха проявляется с запаздыванием, иногда с существенным. Деятельный слой, являясь верхней частью криолитосферы, реагирует на повышение температуры воздуха первым, поэтому является хорошим объектом для наблюдений. Его изменения свидетельствуют о грядущей перестройке геокриологических условий, что часто приводит к снижению несущей способности грунтов, как оснований сооружений и завершаются разрушением инфраструктуры в криолитозоне [4]. Этим объясняется значимость проводимых режимных наблюдений. С 2008 г. режимный участок ИКЗ ТюмНЦ СО РАН был включен в международные программы по наблюдению за изменением геокриологических условий TCP и CALM. В настоящее время исследования продолжаются в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012). Анализ данных режимных наблюдений должен дать представление об особенностях реакции верхней части криолитосферы на изменение климата и позволить минимизировать ущерб, обусловленный климатическими вызовами [1, 5].

### **Сведения о расположении режимного участка**

Режимный участок в южной тундре был выбран и обследован ВСЕГИНГЕО до начала освоения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. В дальнейшем, во время освоения месторождения предполагалось продолжение наблюдений для оценки вклада

природной и техногенной составляющей в изменение геокриологических условий. Из-за недофинансирования режимные наблюдения проводились с временными перерывами по сокращенной программе. Тем не менее, данные полученные ВСЕГИНГЕО, а затем ИКЗ ТюмНЦ СО РАН (под юрисдикцию которого перешел режимный участок) содержали уникальный материал позволяющий оценить влияние потепления климата на изменение геокриологических условий в естественных условиях.

Режимный участок размещен на севере Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения в южной тундре, преимущественно в пределах III морской равнины с абсолютными отметками до 35 м. Равнина с поверхности сложена суглинистыми высокольдистыми отложениями, суммарная влажность которых достигает 60 %. Многолетнемерзлые породы имеют здесь сплошное распространение.

### Методика исследований

Для организации режимных наблюдений за изменением глубины сезонного протаивания в 2008 г. на водоразделе указанной равнины была выбрана площадка размером 100 на 100 м, обустроенная по протоколу международной программы (марки размещены по сетке с интервалом 10 м (121 марка) (рисунок 1).

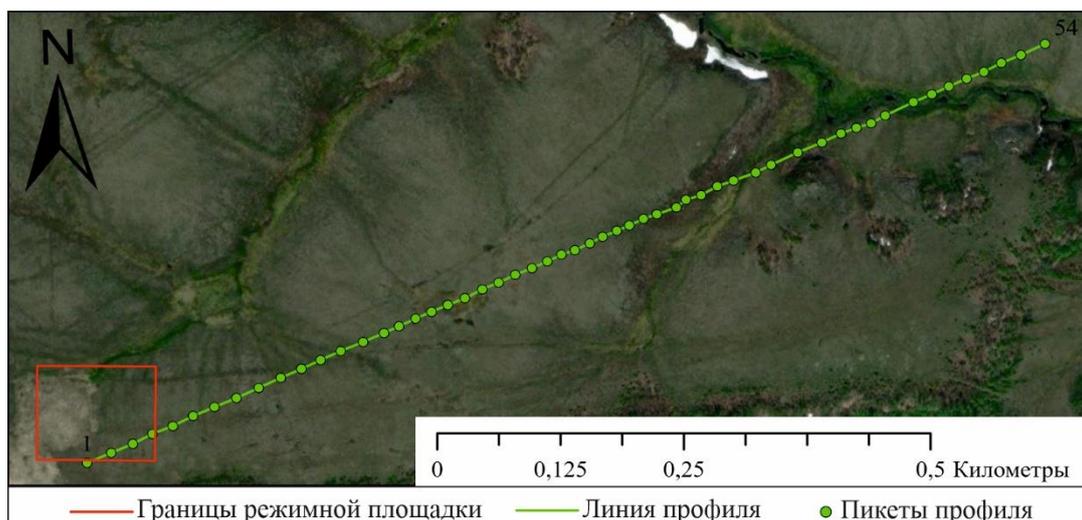


Рисунок 1. Размещение наблюдательной площадки и профиля на режимном участке Уренгой северный

В 2023 г. по заданию Центра изучения Арктики был организован новый профиль протяженностью приблизительно 1 км, который пересек водораздел и долины двух ручьев. На профиле находится 54 марки, расстояние между марками выбирался исходя из геокриологических условий, сгущаясь на массивах с ММГ и разрежаясь на талых породах.

Измерения глубины протаивания грунтов с 2008 г. осуществлялось ежегодно шупом в конце августа - начале сентября, полученные результаты пересчитывались на максимум. Для пересчета использовались данные метеостанции Новый Уренгой с открытого сайта RP5.ru.

### Тенденции изменения температуры воздуха

Наблюдения на метеостанции Новый Уренгой ведутся с 1981 г., свидетельствуют об устойчивом повышении среднегодовой температуры воздуха, со средним трендом 0,06 °C в год при значительной межгодовой изменчивости. С 2008 г. наиболее низкие среднегодовые температуры воздуха (ниже минус 8°C) наблюдались в 2009, 2010 гг., наиболее высокие (-4...-2,2°C) в 2012, 2016 и 2020 гг. Считается [3], что на темпы и глубину протаивания наибольшее

влияние оказывает сумма положительных температур воздуха теплого периода. Тренд повышения суммы положительных температур воздуха составляет 0,2°C в год. Самым теплым это период был в 2016г.

Высокие среднегодовые температуры воздуха в 2020 г. привели к тому, что на участках неглубокого залегания повторно-жильных льдов на два года активизировался термокарст.

### Результаты измерения глубины протаивания грунтов

На наблюдательной площадке глубина протаивания пород за 16 лет увеличилась приблизительно на 30 %. В 2008 г. мощность деятельного слоя составляла 0,43...1,24 м, в среднем 0,88 м, в 2024 г. - 0,74...1,92 м, в среднем 1,24м. Тренд увеличение глубины протаивания на площадке составил от долей сантиметра до 7 см в год, в среднем 3 см в год (рисунок 2).

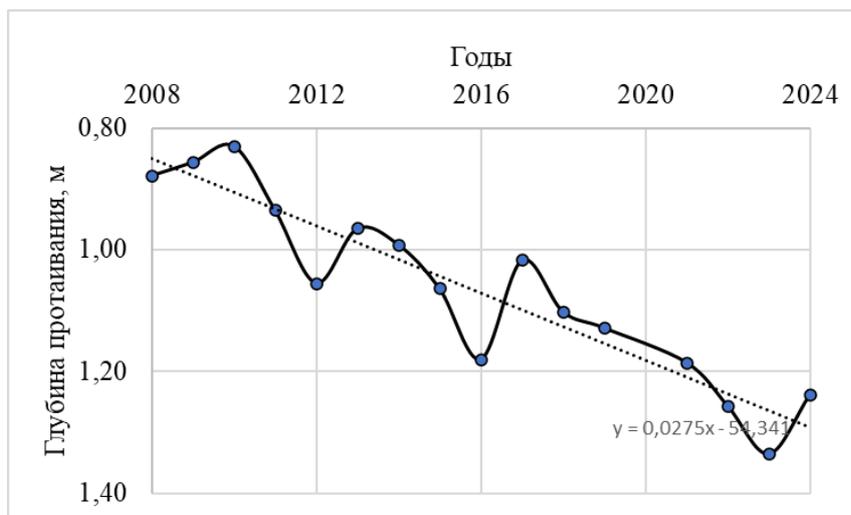


Рисунок 2. Изменение средней глубины протаивания пород за годы 2008-2024 гг.

Минимальные значения средней по площадке глубины протаивания были зафиксированы в годы с низкими среднегодовыми температурами воздуха: в 2009 (0,86 м) и в 2010 гг. (0,83 м), максимальные значения в годы с высокими среднегодовыми температурами 2012 (1,06м) и 2016 гг. (1,18м). Как указывалось выше, самым теплым был 2020 г., но наблюдения на режимном участке в тот год не выполнялись по техническим причинам.

В нескольких точках площадки в 2023 и 2024 гг. были выявлены участки с глубоким (более 2 м) залеганием кровли ММП. Эти участки развиты в южной тундре локально, но южнее в северной тайге и южной лесотундре Западной Сибири имеют широкое распространение [2].

В 2013 г. часть площадки была подвергнута техногенному вмешательству, и оказалась под насыпным грунтом. Для выполнения анализа эти участки не принимались в расчет. На техногенно нарушенном участке глубина протаивания превышает 2 м.

На профиле измерения глубины протаивания выполнялись в 2023 и 2024 гг. Минимальные значения глубины протаивания 0,5-0,6 м отмечены на плоской поверхности водораздела, с мощным моховым покровом и осоками. Видовой состав напочвенного покрова свидетельствуют об относительно высокой увлажненности деятельного слоя, что способствует испарению влаги и охлаждению пород в летний период. Максимальные значения глубины протаивания до 1,5 м характерны для дренированных участков водоразделов.

После пересчета на максимум глубина протаивания оказалась практически неизменной от 0,5 до 1,50 м в среднем 1 м. Глубокое залегание кровли ММП, превышающее 2,00 м

отмечены в долинах ручьев с высоким густым ерником (высотой до 1,5 м), и, очевидно, мощным снежным покровом.

### **Выводы**

Можно считать доказанным, что в южной тундре Западной Сибири, на участках сплошного распространения ММП происходит достаточно быстрое увеличение глубины протаивания пород, достигающее 7 см в год. В результате чего начинают формироваться участки с глубоким залеганием кровли ММП. Вместе с тем, остаются участки, на которых увеличение глубины сезонного протаивания практически незаметно. Это увлажненные плоские участки водоразделов с мощным моховым покровом и осоками.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность студенту Тюменского Индустриального университета В. Н. Марину за участие в полевых исследованиях, руководителю практики О. Е. Пономаревой и ведущему научному сотруднику А. Н. Шеину за логистическую поддержку практики и заботу, Е. В. Устиновой – к.г.-м.н., ученому секретарю ИКЗ ТюмНЦ СО РАН за поддержку практики.

### **Библиография**

1. Глобальное изменение климата и его последствия / Л. В. Бондаренко, О. В. Маслова, А. В. Белкина, К. В. Сухарева // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2018. - № 2. – С. 84-93.
2. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А. А. Васильев, А. Г. Гравис, А. А. Губарьков [и др.] // Криосфера Земли. – 2020. – Т. XXIV, № 2. – С. 15-30.
3. Мониторинг глубины протаивания и температуры многолетнемерзлых пород на севере Ямало-Ненецкого АО / Е. А. Бабкина, А. В. Хомутов, Е. М. Бабкин, М. О. Лейбман // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. – 2022. - № 9. – С. 20-28.
4. Стрелецкий Д. А. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири / Д. А. Стрелецкий, Н. И. Шикломанов, В. И. Гребенец // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 22-32.
5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Е. М. Акентьева, А. М. Алейникова, Г. В. Алексеев [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство «Научное издание», 2022. – 676 с.

## Сравнительная характеристика предельных дефицитов устойчивости на нефте- и газопроводы на примере оползней, инициированных слабой сейсмичностью

Прасолов А.А.\* (ООО «Трансстроймеханизация», ghfcjkjdfylhtq@yandex.ru)

### Аннотация

Сейсмогенные оползни имеют весьма широкое распространение и могут оказывать значительное влияние на проектирование различных инженерных сооружений, как на суше, так и под водой. К активизации таких оползней может приводить и слабая сейсмичность, которая характеризуется большей частотой и распространением, в том числе на платформенных территориях, но при этом имеющая меньшее воздействие. Также важным становится изучение условий, при которых малая сейсмичность может являться триггером для развития оползней. В качестве примера изучен участок шельфа Баренцева моря, сложенный иловатыми грунтами.

На примере нефте- и газопроводов проведена оценка воздействия оползней, инициированных слабой сейсмичностью на инженерные сооружения, проведена сравнительная характеристика предельных дефицитов устойчивости в зависимости от морфологии оползневого тела. Показаны основные оптимальные мероприятия инженерной защиты, которые могут быть применены на основе расчётов дефицитов устойчивости и критических коэффициентов устойчивости для обеспечения надёжности сооружений. Отмечено значительное влияние правильного определения механизма оползневого процесса на выбор методов расчёта устойчивости с целью получения наименее благоприятного варианта. Также показано, что наиболее опасные оползневые тела будут характеризоваться наибольшим дефицитом устойчивости, но при этом не всегда меньшим коэффициентом устойчивости, так как эта величина является относительной.

### Ключевые слова

Оползневое давление, слабая сейсмичность, нефте- и газопроводы

### Теория

В наши дни развитие транспортной и энергетической инфраструктуры сопряжено освоением ранее незастроенных территорий. Зачастую они характеризуются сложными инженерно-геологическими условиями, в частности развитием опасных геологических процессов (например, оползневых) или наличием специфических грунтов. Прогноз и возникновение оползневых процессов является актуальной задачей, необходимость её изучения также обусловлена выбора оптимальных и надёжных мероприятий инженерной защиты для различных сооружений при варьирующихся условиях.

К факторам возникновения и развития оползневых процессов также относится слабая сейсмичность (менее 7 баллов), не регулируемая при проектировании инженерных сооружений согласно основному документу по строительству в сейсмических районах СП 14.13330.2018. Слабая сейсмичность может стать триггером оползневого процесса в слабых грунтах даже на достаточно пологих склонах, что наиболее характерно для резко снижающих свою прочность грунтов.

Возможность развития ползучести для таких грунтов можно описать физико-технической теорией ползучести Маслова [1], в котором удельное сцепление разделяется на структурное ( $C_c$ ) и сцепление связности ( $C_w$ ), обусловленного водно-коллоидными связями. Тем самым, возможны два варианта развития оползневого процесса:  $\tau > \sigma \tan \phi + C_c$  – условие установившейся ползучести, при котором  $C_w = 0$ , и  $\tau > \sigma \tan \phi + C_w$  – условие ползучести без перехода в стадию затухания, при котором  $C_c = 0$ .

В настоящей статье взят пример трубопровода на шельфе Баренцева моря, в котором для развитых с поверхности иловатых грунтов реализуется первый вариант. В шельфовой зоне Баренцева моря, в плейстоценовую эпоху формировались глубокие борозды выпаживания глубиной 60-70 м за счёт ледовой экзарации, в них в настоящее время могут развиваться оползневые процессы. Бровка этих борозд выпаживания имеет абсолютные отметки -218 – -219 м, а нижняя часть -276 – -279 м. Расчёты выполнялись в программах Geostudio Slope/W с использованием метода предельного равновесия – метода Янбу, а также PSK-98SCR методом минимизации коэффициента устойчивости. Расчётные свойства грунтов приведены в табл. 1, проектное землетрясение имеет магнитуду 3,5 и интенсивность 5,5 баллов с пиковым ускорением 0,4 м/с<sup>2</sup>.

Таблица 1. Расчётные свойства грунтов шельфа Баренцева моря по данным [2]

Индекс	ИГЭ	Наименование грунта	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , °	Удельное сцепление $C$ , кПа
mQIV	ИГЭ-1	Ил суглинистый	1,60	8,6	6,4
	ИГЭ-2	Суглинок текучий	1,83	11,6	2,3
mQIII	ИГЭ-3	Суглинок мягкопластичный	1,90	12,1	5,7 ( $C_w=3,4$ )
	ИГЭ-4	Суглинок тугопластичный	1,95	21,8	12,8
	ИГЭ-5	Суглинок твердый	2,02	21,6	17,5

Изначально проводился расчёт в начальном напряжённо-деформированном состоянии (НДС) грунтового массива, далее с учётом сейсмического воздействия в 5,5 баллов и оставлением только структурной части сцепления в ИГЭ-3, то есть  $C=2,3$  кПа, как для текучего суглинка. При расчёте устойчивости борта борозды в шельфовой зоне Баренцева моря без дополнительных условий склон находится в состоянии предельного равновесия, коэффициент устойчивости методом Янбу равен 1,01. При расчётах с сейсмичностью оползневое тело с наименьшим коэффициентом устойчивости становится гораздо меньше, и его коэффициент устойчивости составляет 0,901, при этом его поверхность скольжения становится гораздо меньше и проходит по подошве наиболее слабых иловатых грунтов (рис. 1).

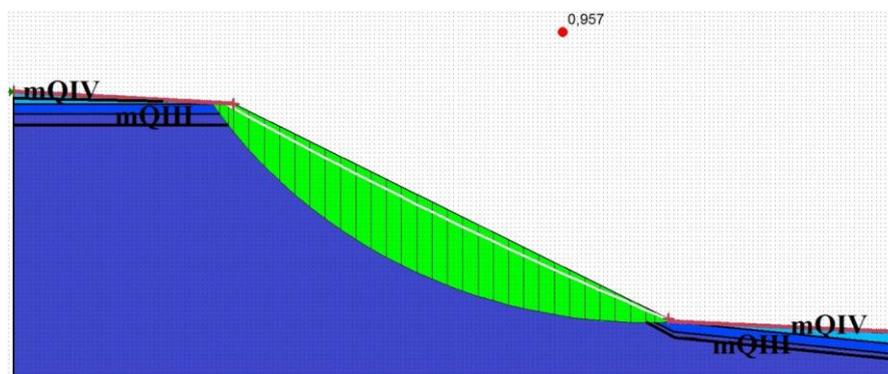


Рисунок 1. Расчёт устойчивости склона на шельфе Баренцева моря по методу Янбу в условиях сейсмичности интенсивностью 5,5 баллов: глубокий оползень с  $K_y=0,957$ , белым отмечена поверхность мелкого оползня с  $K_y=0,901$

По методу минимизации коэффициента устойчивости его значение достигает 0,601. При воздействии слабой сейсмичности основная восстанавливаемая часть – сцепление

связности – имеет главное значение в изменении формы оползневого тела и формировании оползневого процесса в борозде выпаживания, при этом для потенциального более глубокого оползня коэффициент устойчивости уменьшится всего лишь на первые проценты. Однако для склона, находящегося близко к предельному равновесию, даже воздействие от землетрясения интенсивностью 5,5 баллов может оказать триггерное влияние, коэффициент устойчивости для более глубокого оползня по методу Ямбу составляет 0,957 (рис. 1).

При учёте воздействия оползня на стальные трубопроводы использовались следующие технические параметры [3]: внешний диаметр трубы – 0,508 м, толщина стенки – 0,635 см, инерционный момент – 32,69 см<sup>4</sup> и жёсткость трубы – 68,7 ГПа.

На примере нефтепроводов и газопроводов на Сахалине критическими деформациями на сжатие, при которых возможны разрушения труб, приняты 2,5% и 3%, соответственно [4]. Таким образом, по параметрам трубопроводов возможен расчёт критического дефицита устойчивости склонов на погонный метр, при котором возможно разрушение трубопроводов. Для нефтепровода оно составило 1369809 кН/пог. м., а для газопровода – 1643771 кН/пог. м, эти значения можно сравнивать с дефицитами устойчивости, получаемыми расчётными методами для оползней.

Помимо определения критического оползневого давления можно использовать критический коэффициент устойчивости, при достижении оползнем которого возможно разрушение нефте- или газопровода. Здесь ключевым является влияние размера оползня на получаемую характеристику – так как коэффициент устойчивости является относительной величиной, то и в зависимости от размера оползня он будет варьировать, поэтому для решения данной задачи предпочтительнее использовать оползневое давление. Результаты расчёта устойчивости склона приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчётов устойчивости склона на шельфе Баренцева море

Расчёт	K <sub>y</sub> , б/р	Дефицит устойчивости, кН/пог. м.	Критический K <sub>y</sub> , б/р	
			Нефтепровод	Газопровод
Малый оползень, метод Ямбу	0,901	521920	0,776	0,743
Малый оползень, метод минимизации K <sub>y</sub>	0,601	2425227	0,776	0,743
Крупный оползень, метод Ямбу	0,957	676587	0,917	0,902

По результатам расчётов на шельфе Баренцева море отмечается большая зависимость дефицита устойчивости от расположения поверхности скольжения консеквентного оползня. Ввиду малой мощности оползневого тела круглоцилиндрическая поверхность не может выявить самую опасную поверхность скольжения, поэтому расчёт с использованием алгоритмов автоматического определения наиболее опасной поверхности скольжения, как в программе PSK-98SCR, даёт дефицит устойчивости более чем в 4 раза по сравнению с расчётом по круглоцилиндрической поверхности.

При этом по расчётам с круглоцилиндрической поверхностью скольжения наиболее опасным становится более крупный оползень, найденный по методу Ямбу с большим коэффициентом устойчивости, по сравнению с меньшим оползнем, характеризующимся меньшим коэффициентом устойчивости, но при этом и меньшим дефицитом устойчивости.

Это показывает, что при определении воздействия оползней на инженерные сооружения более информативным параметром является дефицит устойчивости. В то же время критический коэффициент устойчивости является относительной величиной в зависимости от размера оползневого тела и испытываемого воздействия сооружения, поэтому его величины будут различаться. Для нефтепровода с учётом дополнительной нагрузки от нефти критическое оползневое давление будет выше, чем для газопровода. При развитии наименее благоприятного сценария в иловатых грунтах может сформироваться высокое значение дефицита устойчивости – 2425227 кН/пог. м., превышающее предельную величину, и для нефтепровода, и для газопровода.

Таким образом, показано влияние подходящего расчётного метода в зависимости от механизма оползневого процесса (в данном случае консеквентного оползня). Также на примере результатов, полученных методом предельного равновесия по круглоцилиндрической поверхности скольжения, показано, что не всегда потенциальное оползневое тело с минимальным коэффициентом устойчивости будет наиболее опасным, наиболее подходящими параметрами при обосновании мероприятий инженерной защиты будут дефицит устойчивости и оползневое давление.

### **Выводы**

Оползневой процесс является опасным геологическим процессом, потенциальное воздействие от которого необходимо учитывать при проектировании и строительстве любого инженерного сооружения. Изучение влияния оползневого процесса осложняется определением основных факторов возникновения и развития оползней, к ним в частности относится и слабая сейсмичность интенсивностью менее 7 баллов. В качестве примера был рассмотрен участок шельфовой зоны Баренцева моря, который также характеризуется распространением специфических грунтов, способных резко снижать свою прочность за счёт потери сцепления связности, обусловленного восстанавливаемыми водно-коллоидными связями. Показано влияние механизма процесса и морфологии оползневого тела на определение максимального дефицита устойчивости. Показано использование критических дефицита и коэффициента устойчивости для выбора мероприятий инженерной защиты, как для нефтепроводов, так и для газопроводов. Таким образом, можно подобрать не только надёжный, но и экономически наименее затратный комплекс мер для этих инженерных сооружений.

### **Библиография**

1. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М.: Высшая школа, 1968. – 632 с.
2. Миронюк С.Г., Семёнова А.А. Региональные особенности распространения геологических опасностей на шельфе Баренцева моря // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения. М.: Издательство Геомаркетинг, 2017. – С. 152-160.
3. Jahromi H.F., Jafarzadeh F., Zakaria M.S. Experimental study of burial depth effect on embedded pipe deformations in sandy slopes under dynamic landsliding // Soil Dynamics and Earthquake Engineering 114: 2018. P. 281-297.
4. Mattiozzi P., Strom A. Crossing active faults on the Sakhalin II onshore pipeline route: pipeline design and risk analysis // Proceedings of the Seismic Engineering Conference Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake. College Park, MD: American Institute of Physics, 2008. P. 1004–1013.

*Оползневые явления в Узбекистане в условиях поступательного потепления климата*

*Туляганов Б.И.\* (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО»),  
Ходжибаев А.Н. (Университет Геологических Наук, brno2011@yandex.ru)*

**Аннотация**

Анализ данных мониторинга показывает, что в Республике Узбекистан с 2010 года происходит стабильное снижение активности оползней с прогнозируемым сокращением до 50–60 случаев к 2030 году. Тренд обусловлен изменением климата и техногенными факторами. С 1990 по 2023 гг. отмечены рост температуры, увеличение экстремально жарких дней и сокращение осадков, что снижает увлажнение склонов и подпитку подземных вод, уменьшая число оползней. Интенсивная эксплуатация автотрасс и железных дорог дестабилизирует склоны, особенно в сложных геологических условиях. Динамическое воздействие транспорта и вибрации поездов провоцируют разрушение пород, резонансные эффекты и тиксотропные процессы, увеличивая риск оползней.

**Ключевые слова**

Оползневые процессы, климатические изменения, техногенные факторы, температура воздуха, атмосферные осадки, динамическое воздействие, устойчивость склонов

**Теория**

Территория Узбекистана отличается значительным разнообразием геологических, климатических и техногенных процессов, что обуславливает высокую активность опасных природных явлений, в частности, оползней [1]. Массовые оползневые процессы, а также трагические события весны и лета 1958 года в Ташкентской области стали отправной точкой для комплексного изучения данной проблемы в республике.

Для организации системного мониторинга и изучения оползневых процессов в 1958 году было создано специализированное подразделение — Бостандыкская оползневая партия, включённая в состав Гидрорежимной экспедиции Узбекского гидрогеологического треста [2]. Эта структура сыграла ключевую роль в развитии геодинамических исследований и формировании подходов к прогнозированию и предотвращению негативных последствий оползневых явлений.

В дальнейшем, в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 8 апреля 1994 года № 194 «О создании Государственной службы РУз по слежению за опасными геологическими процессами» (Госслужба слежения), была организована сеть из семи территориальных станций. Они охватили горные и предгорные регионы Ташкентской (две станции), Ферганской, Самаркандской, Кашкадарьинской (две станции) и Сурхандарьинской областей, что позволило существенно повысить уровень наблюдений и прогнозирования оползневых процессов в республике.

*Текущее состояние и методы исследований.* Материалы Двадцать шестой сессии Конференции ООН по изменению климата (COP-26), состоявшейся в ноябре 2021 года в Глазго (Шотландия), легли в основу разработки концепции геоэкологической безопасности территории Республики Узбекистан.

В последние десятилетия широкое распространение получили методы дистанционного зондирования и геоинформационных систем (ГИС), которые доказали свою эффективность в анализе различных природных катастроф (Park & Kyriakidis, 2008; Oh et al., 2009; Lee et al., 2015; Oh & Lee, 2017; Lee et al., 2018). Эти технологии применяются для разработки надежных и точных карт восприимчивости к оползням.

Наиболее распространённые методы оценки включают:

- Метод соотношения частот (СЧ) (Lee et al., 2015, 2016; Hong et al., 2016; Oh et al., 2017);
- Логистическую регрессию (Chen et al., 2016; Lee et al., 2016; Lee & Lee, 2017);
- Метод дерева решений (дерево событий) (Lee & Park, 2013; Chen et al., 2018b; Kim et al., 2018; Truong et al., 2018);
- Машины опорных векторов (SVM) (Lee et al., 2017; Tien Bui et al., 2017; Chen et al., 2018a; Mezaal & Pradhan, 2018);
- Искусственные нейронные сети (ANN) (Pradhan & Lee, 2010a; Lee et al., 2017; Pham et al., 2017; Polykretis & Chalkias, 2018) [2-21].

Использование этих методов позволяет значительно повысить точность прогнозирования оползневых процессов, что играет ключевую роль в обеспечении геоэкологической безопасности и снижении риска разрушительных последствий природных катастроф.

В настоящее время для исследования оползневых процессов на территории Узбекистана применяется комплексный подход, включающий анализ фактического материала, полевые исследования с использованием современных технологий, а также камеральные инженерно-геологические методы [4].

Среди инструментов мониторинга активно используются: GPS-системы – для отслеживания динамики смещения оползневых масс; 3D-лазерное наземное сканирование – для детального контроля за изменением рельефа оползневых участков; беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – для создания трёхмерных моделей оползней и анализа их динамики; Спутниковые снимки Sentinel-1 – для дистанционного определения движения оползней. Помимо этого, широко применяются ретроспективный сравнительный анализ, математическая статистика, обработка результатов с помощью геоинформационных технологий (ГИС) и картографирование [5].

*Вопросы классификации и оценки оползне-активности.* Существующие классификации оползней основаны на различных параметрах, характеризующих как сам оползень, так и особенности оползневого процесса. Однако недостаточное внимание уделяется изучению повторяемости экзогенных геологических процессов в зонах оползневой активности, а также анализу их интенсивности в многолетнем разрезе.

Анализ отслеживаемых оползневых процессов за период 1990–2023 годов показал, что количество проявлений обусловлены как климатическими, так и техногенными факторами. По данным Госслужбы слежения РУз, в число зафиксированных оползневых проявлений снижалось с 630 (2005 г.) до 66 (2021 г.) случаев. На основе многолетнего мониторинга и анализа динамики оползневых процессов была разработана классификация количественной оценки оползне-активности. Данная классификация позволяет объективно оценивать уровень опасности оползневых процессов, учитывать природные и антропогенные воздействия, а также оптимизировать меры предупреждения и минимизации рисков.

*Результаты и обсуждение.* Экзогенные геологические процессы, активно проявляющиеся в горных и предгорных районах республики, оказывают значительное воздействие на различные государственные и хозяйственные объекты. Основная угроза связана с их потенциальной опасностью для жизни и деятельности населения.

По данным Госслужбы слежения РУз, за период с 1990 года на территории Узбекистана зарегистрировано более 7 989 случаев проявления оползневых процессов. Объемы проявившихся оползней изменяются от десятков м<sup>3</sup> до нескольких миллионов м<sup>3</sup> (рис.1). Необходимо отметить, что в Ташкентской области находится Атчинский оползень, названный оползнем века, объёмом свыше 800 млн. м<sup>3</sup> и площадью до 12 км<sup>2</sup>.

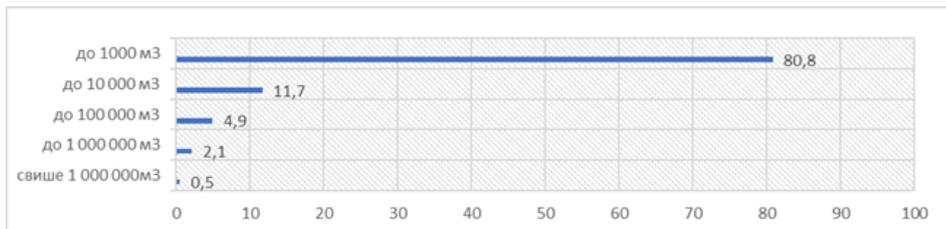


Рисунок 1. Гистограмма распределения оползней по объемам

Результаты анализа многолетних мониторинговых наблюдений по степени активности оползне-проявлений по годам показаны в гистограмме (рис. 2).

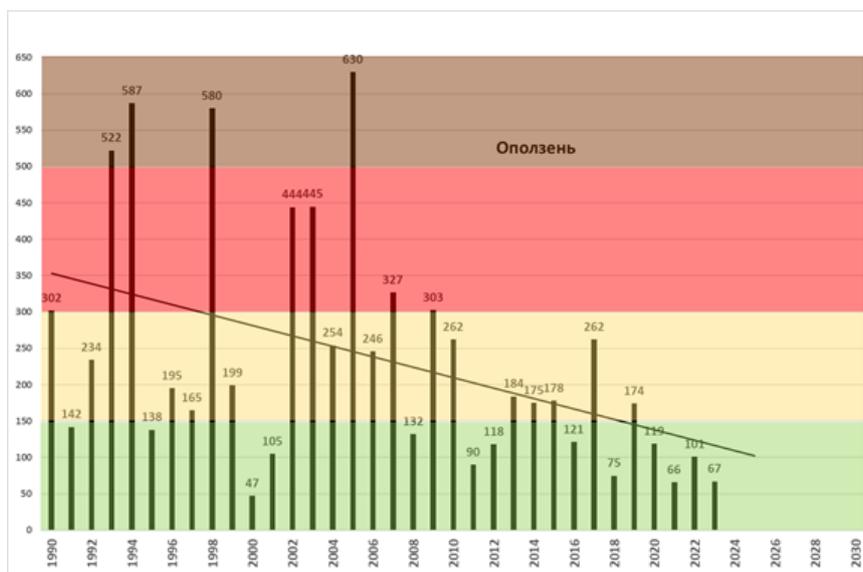


Рисунок 2. Гистограмма распределения оползней по степени активности года

Анализ данных многолетнего мониторинга свидетельствуют о неуклонном снижении активности оползневых процессов. С 2010 года преобладает низкий уровень оползне-активности (менее 150 проявлений за сезон), а к 2030 году прогнозируется дальнейшее снижение — до 50–60 случаев в сезон [4]. Данная тенденция обусловлена количественным и качественным изменением ключевых факторов, способствующих активизации оползневых процессов, в числе которых:

- Поступательное повышение температуры климата, приводящее к изменению режима увлажнения зоны аэрации на склонах;
- Рост техногенной нагрузки на существующую инфраструктуру и интенсивное эксплуатация магистральных автотрасс оказывает влияние на устойчивость геологических пород;
- Природные и антропогенные факторы, включая изменения в режиме атмосферных осадков, направлениях ветра, а также ввод в эксплуатацию новых инфраструктурных объектов, способствующих перераспределению нагрузок на геологические структуры.

### Выводы

1. Продолжается снижение активности оползне-проявлений: с 2010 года фиксируется менее 150 случаев за сезон, к 2030 году ожидается 50–60. Тренд обусловлен:

- Изменением климата, влияющим на увлажнение склонов и экзогенные процессы.
  - Эксплуатацией линейных сооружений, влияющие на устойчивость пород.
2. Анализ данных (1990–2023) выявил влияние климатических изменений:
- В 1990–2013 гг. температура выросла на 1,4°C (с 10,8°C до 12,2°C), с 2014 г. – на 2,7°C (до 13,9°C). Число дней с температурой выше 40°C увеличилось в 1,5 раза.
  - С 2011 г. осадки снизились с 627 мм до 501 мм, что сократило случаи проявления оползней до 1 496.
  - Ожидается рост температуры на 1°C и снижение осадков (до 500–520 мм), что уменьшит оползне-проявления до 50–60 случаев в год.
3. Интенсивная эксплуатация авто- и железных дорог являются причинами, способствующими активизации оползне-проявлений
- Тяжёлый транспорт создаёт динамическое воздействие, особенно на участках со сложным геологическим строением.
  - Нагрузки разрушают склоны, особенно на крутых участках.
  - Вибрации поездов могут вызывать резонанс и дестабилизацию грунтов.
  - В увлажнённых зонах вибрация приводит к разжижению пород и потере их устойчивости.

### **Библиография**

1. Национальный доклад «О состоянии окружающей среды и использование природных ресурсов в Республике Узбекистан (1988-2007гг)». Т., 2008. – 298с.
2. Туляганов Б.И. Историческая хроника формирования оползневой службы Республики Узбекистан. Жур. Разведка и охрана недр. М., № 11, 2021. - с. 58-65.
3. Туляганов Б.И. Геологическая безопасность территорий – основа обеспечения устойчивого развития продовольственной безопасности. Проблемы сейсмологии в Узбекистане – Т.: ИС АН РУз, №7, том I, 2010. с. 184-188;
4. Туляганов Б.И., Кадырходжаев А.А., Бимурзаев Г.А. К вопросам качественной и количественной оценки экзогенных геологических процессов по степени их активизации (на примере Узбекистана). Материалы X Международной научно-технической конференции «Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата – ГЕОРИСК-18», Москва: РУДН, 2018. с. 133-138.
5. Azam Kadirhodjaev Analysis of the relationship between topographic factors and landslide occurrence and their application to landslide susceptibility mapping: a case study of Mingchukur, Uzbekistan, Geosciences Journal, <http://www.springer.com/journal/112303>, <http://doi.org/10.1007/s12303-018-0052-x>, September 2018, 1053-1067.

**Комплексные инженерно-геофизические исследования участка расширения Восточно-Сибирской железной дороги для целей сейсмического микрорайонирования**

**Сосницкий Л.И\*** (МГРИ, [Lev.Sosnickiy@yandex.ru](mailto:Lev.Sosnickiy@yandex.ru)),  
**Кауркин М.Д** (МГРИ, [kaurkinmd@mgri.ru](mailto:kaurkinmd@mgri.ru))

**Аннотация**

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) — оценка сейсмической опасности, при которой учитывается влияние местных грунтовых условий на интенсивность сейсмических колебаний на поверхности Земли, и определяются поправки, уменьшающие или увеличивающие сейсмичность района, задаваемую картами общего или детального сейсмического районирования. Использование данного метода является заключительным при оценке сейсмической опасности и будет рассмотрено для решения поставленных задач на примере Восточно-Сибирской железной дороги (Республика Бурятия).

**Ключевые слова**

Сейсмическое микрорайонирование, инженерная геофизика

**Теория**

СМР выполняют в целях количественной оценки влияния местных условий (состав и свойства грунтов, особенности рельефа, наличие опасных геологических явлений и др.) на сейсмичность с указанием изменения интенсивности в баллах и/или инструментальных параметров сейсмических колебаний.

Участок изысканий относится к ст. Тальцы Восточно-Сибирской железной дороги на Транссибирской магистрали. Расположен Октябрьском района города Улан-Удэ, столицы Республики Бурятия, на левом берегу р. Уды (Рисунок 1).

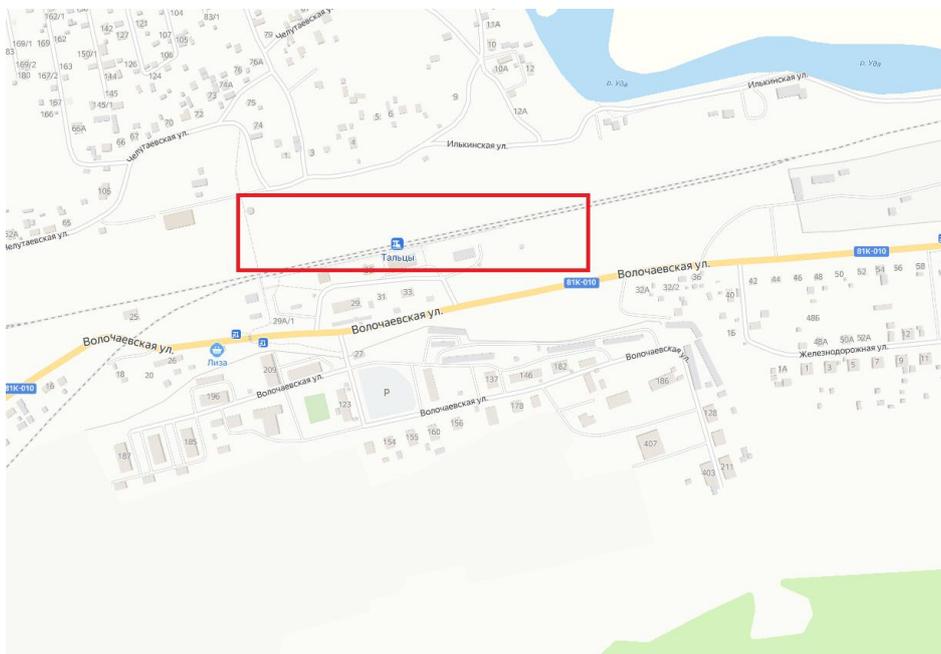


Рисунок 1. Обзорная карта участка проведения работ

Основными целями инженерно-геофизических исследований являлось комплексное изучение инженерно-геологических условий участка, определение удельного электрического сопротивления пород, изучение верхнего строения пути и устройства земляного полотна, определение расчетной сейсмичности района проектируемого строительства с указанием сейсмичности в баллах на момент проведения изысканий.

Полевые работы выполнялись комплексом инженерно-геофизических исследований, состоящим из сейсморазведки, электроразведки, георадиолокационных исследований и сейсмического микрорайонирования. Сейсморазведочные работы были выполнены методом МПВ в модификации сейсмотомографии на поперечных и продольных волнах с целью изучения скоростных характеристик грунтов для расчета приращения балльности по методу сейсмических жесткостей. Обработка данных сейсморазведки методом сейсмотомографии. Томографическая инверсия сейсмических данных проводилась в программном пакете ZondST2D, предназначенном для двумерной обработки и интерпретации данных инженерной сейсморазведки.

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) выполнялось с целью уточнения сейсмичности района изысканий. С целью выполнения поставленных задач, были выполнены работы инструментальными и расчетными методами, включающими в себя метод сейсмических жесткостей и метод регистрации микросейсм. Обработка сейсмического микрорайонирования (СМР) включала расчет приращения сейсмической интенсивности ( $\Delta I$  в баллах) по методу сейсмической жесткости и регистрации микросейсм. Приращения сейсмической интенсивности ( $\Delta I$  в баллах) по методу сейсмической жесткости за счет местных инженерно-геологических условий определяют с точностью до 0,1 балла в соответствии с п.6.37 СП 269.1325800.2016 по формуле (Рисунок 1)

$$\Delta I = 1,67 \cdot \lg(655/V_{si}\rho_i),$$

где  $V_{si}\rho_i$  — сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи, г/см<sup>3</sup>\*м/с;  
 $\rho_i$  — нормативная плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  
 $V_{si}$  — скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще, м/с;

Рисунок 2. Формула приращения сейсмической интенсивности

При сейсмическом микрорайонировании применялся метод сейсмических жесткостей. Метод основан на эмпирически установленном факте влияния сейсмической жесткости грунтов на ускорения их колебаний при землетрясениях и на степень повреждения сооружений. При сейсмическом микрорайонировании участков строительства транспортных сооружений уточненная сейсмичность корректируется с учетом местных инженерно-геологических условий. Корректировка задается в форме приращения сейсмичности (балльности), учитывающей сейсмическую жесткость грунта строительной площадки.

Перечень определяемых параметров расчетных сейсмических воздействий, включающий в себя интенсивность в баллах, пиковое ускорение, преобладающий период и длительность колебаний, спектр реакции, коэффициент динамичности, акселерограммы, грунтовые коэффициенты и др., установлен с учетом используемых методов расчетов и приведен в задании на проведение изысканий. Сейсмическое микрорайонирование выполняется с целью количественной оценки влияния местных условий (состав грунтов, особенности рельефа, наличие сейсмоактивных разломов и др.) на сейсмичность с указанием изменения интенсивности в баллах для исследуемой площадки.

Работы методом регистрации микросейсм выполнялись сейсмологической аппаратурой «Дельта-03» и акселерометрами СПВ-3К. Метод регистрации микросейсм применяется как для оценки приращений сейсмической интенсивности, так и для получения резонансных

характеристик грунтов путем регистрации и определения преобладающих периодов и амплитудного уровня микроколебаний в различных типах грунтовых условий. Обработка материалов наблюдений микросейсм проводилась с помощью специализированной программы управления регистраторами сейсмических сигналов «ДЕЛЬТА 03».

Обработка материалов наблюдений микросейсм проводилась с помощью специализированной программы управления регистраторами сейсмических сигналов «ДЕЛЬТА 03» по методике передаточных функций, разработанной в ИЗК РАН. Данная методика основана на существовании корреляционной связи между интенсивностью микросейсмических колебаний и усилением сейсмических колебаний от землетрясений и подразумевает изучение пространственных характеристик спектральных соотношений. Методика базируется на широко распространенном в мире методе Накамуры (Nakamura, 1989). Для оценки частотных характеристик грунтов используется отношение между спектрами горизонтальных и вертикальных компонент. Экспериментами доказано, что метод позволяет компенсировать спектральные компоненты колебаний, являющиеся техногенным шумом, и получать более надежные результаты при выполнении сейсмического микрорайонирования в условиях высокого уровня техногенных шумов.

### Выводы

По результатам выполненных работ методом сейсмических жесткостей величина расчетной сейсмической интенсивности грунтового массива для периода  $T=500$  лет (для временных зданий и сооружений, и объектов вспомогательного использования, связанных с осуществлением строительства) в пределах исследуемого участка на момент изысканий составляет 8,2-8,4 балла шкалы MSK-64. Рассчитанные значения приращения сейсмической интенсивности за счет грунтовых условий приведены на рисунке 3. Величина расчетной сейсмической интенсивности грунтового массива для периода  $T=1000$  лет (для основных объектов строительства) в пределах исследуемого участка на момент изысканий составляет 8,3-8,5 балла шкалы MSK-64.

№ пункта наблюдений	Скорость поперечных волн $V_{sp}$ , м/с	$\rho_{sp}$ , г/см <sup>3</sup>	Сейсмическая жесткость расчетной толщи грунта, г/см <sup>3</sup> *м/с	Категория расчетной толщи грунта по г. 6.1 СП 269.1325800.2016	Приращение интенсивности, $\Delta I_s$	Расчетная сейсмичность по карте ОСР-2015-А, балл	Расчетная сейсмичность по карте ОСР-2015-В, балл
СПР-13-01	215.5	2.11	454.9	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-02	138.3	3.27	452.5	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-03	149.4	3.35	499.8	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-04	137.4	3.11	427.9	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-05	212.7	2.16	460.2	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-06	162.3	1.93	313.7	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-07	322.3	2.33	749.9	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-08	179.5	1.88	338.0	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-09	207.6	2.06	428.6	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-10	244.9	2.23	545.4	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-11	167.2	2.01	335.8	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-12	174.0	1.99	346.4	III	0.3	8.3	8.4
СПР-13-13	294.3	2.35	690.9	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-14	231.4	2.18	504.0	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-15	196.7	2.01	395.7	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-16	270.9	2.29	619.1	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-17	267.9	2.33	624.0	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-18	211.7	2.23	471.7	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-19	311.8	2.41	750.7	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-20	219.2	2.19	480.3	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-21	264.6	2.27	600.7	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-22	251.6	2.30	577.8	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-23	218.0	2.14	465.3	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-24	268.1	2.20	590.9	III	0.2	8.2	8.3
СПР-13-25	268.9	2.19	590.1	III	0.2	8.2	8.3

Рисунок 3. Расчет приращения сейсмической интенсивности за счет местных грунтовых условий

По результатам обработки микросейсм величина расчетной сейсмической интенсивности в пределах площадки меняется от 8,2 до 8,3 балла шкалы MSK-64 для карты ОСР 2015-А, от 8,3 до 8,4 балла шкалы MSK-64 для карты ОСР-2015-В (Рисунок 4).

№ точки	f,Гц	U(f) max	$\Delta J$ , балл	Расчетная сейсмичность по карте ОСР-2015-А	Расчетная сейсмичность по карте ОСР-2015-В
МС-13-01	3.13	1.16	0.2	8.2	8.3
МС-13-02	5.60	1.28	0.3	8.3	8.4
МС-13-03	5.40	1.31	0.3	8.3	8.4
МС-13-04	0.48	1.15	0.2	8.2	8.3
МС-13-05	0.49	1.15	0.2	8.2	8.3
МС-13-06	4.40	1.36	0.2	8.2	8.3

Рисунок 4. Расчет сейсмической интенсивности по результатам регистрации микросейсм

### **Библиография**

1. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface;
2. РСН 60- Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ;
3. СП 14.13330.2018 “Строительство в сейсмических районах (СНиП II-7-81\*)”;
4. РСН 66-87. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка;
5. СП 269.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования.

***К вопросу определения спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте***

***Шозиёв Ш.П. \* (Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии, shokarim@mail.ru),  
Аминзода П. (ИГССС, paminzoda@gmail.com),  
Сафаралиев Н.С. (Таджикский национальный университет (ТНУ), chokadambulak@mail.ru)***

**Аннотация**

Представлены результаты исследования верхней часть осадочного чехла по данным широкополосных сейсмических станций ИГССС НАНТ. Используя записи сейсмического шума рассчитывались основные частотные пики спектра методом Накамуры. С привлечением программного обеспечения [Vantassel, 2020] на базе Python определялись значения резонансной частоты на спектре, пересекающие район исследования. Данный подход относится к одним из современных технологий сейсмического микрорайонирования.

**Ключевые слова**

Метод Накамуры, спектральное отношение, HVSR, Python, Таджикистан

**Теория**

Выявление основной гармоник колебания грунта по спектру и прослеживание коренных пород на площадке строительства, являются ключевыми компонентами усилий по обеспечению общественной безопасности нашей страны, подверженной землетрясениям. Подобные усилия помогают укрепить инфраструктуру и дать строителям указания по подготовке.

На региональную вариацию высокочастотных сейсмических шумов на территории Таджикистана впервые обратил внимание Г.А. Гамбурцев, при регистрации местных землетрясений двумя станциями в пунктах Намич и Нимчак, которые находились на расстоянии пяти километров. Диапазон регистрации составило от 10 до 35 Гц при максимальном увлечении сигнала. Им было обнаружено постепенное увлечение амплитуды колебания, долго делящиеся и постепенно затухающие. Сопоставлении сейсмических записей показали одновременные и одинаковость амплитуды вариации микросейсмов. По выявленному эффекту Г.А. Гамбурцев писал: «Не исключена возможность того, что регистрируемые микросейсм имеют глубинное происхождение. Это явление представляет самостоятельный интерес и заслуживает проверки специальными наблюдениями» [Гамбурцев, 1960].

Метод спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте, который обычно называют HVSR или H/V, представляет собой метод получения информации о сейсмических свойствах неглубокого слоя Земли по измерений одной станции, выполняемых на поверхности, которые представляют большой инженерный интерес. Этот подход был предложен Накамурой [Nakamura, 1989] для исследования сайт- эффекта (сейсмические эффекты, связанные с усилением сейсмических волн в поверхностных геологических слоях), который преодолевает трудности традиционного использования эталонного грунта. Его предложение предоставляет новые идеи и методы для многих аспектов исследований. Однако первоначальная цель состояла в том, чтобы количественно оценить влияние места на основе соотношения амплитудного спектра Фурье [Welch, 1967] горизонтальных и вертикальных составляющих пульсации грунта в одной и той же точке измерения поверхности земли [Nakamura, 1989]. Благодаря простоте HVSR в

обнаружении местоположения и обработке сигналов, он получил большую популярность, хотя и основан на множестве предположений.

Пакет инструментов «hvsgru» для интегрированной среде языка Python с открытым исходным кодом для обработки спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте (HVSР- horizontal-to-vertical spectral ratio) записей микросейсма (микротремора, микродрожания) и землетрясений занимает достойное место в обработке данных, как GEOPSY, Tromino и др. Данный инструмент и её библиотека разработаны Вантасселем Дж. П., Брэннон Д. М. под руководством профессора Кокса Б. Р [Cox B. R. et.al., 2020; Vantassel J. 2020].

Методика анализа. Метод спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте (H/V), за исключением землетрясений и взрывов, вибрационные движения Земли возникают естественным образом (ветры, океанические волны, геотермические реакции, эффект текущей и падающей воды) или искусственно (дорожное движение, промышленные машины на предприятия) с периодами, не превышающие от нескольких секунд до нескольких минут, называются микросейсмами (Katz, 1976). Термин «микротремор» или микродрожания используется для периодов от 0,05 до 2 с. Другими словами, микротреморы – это низкоамплитудные (1–10 мкм) и низкочастотные (0,5–20 Гц) колебания. Поэтому для измерения этих сейсмических волн используются широкополосные сейсмометры. Некоторые исследователи классифицировали микротреморы. По мнению Аки [Aki, 1957] и Франтти [Frantti, 1963], микротреморы представляют собой поверхностные волны. Другие исследователи утверждают, что микротреморы представляют собой объемные волны [Kanai, 1962; Douze, 1964]. В целом, поверхностные источники, такие как ветер, океанские волны и антропогенный шум, генерируют поверхностные волны, тогда как естественные толчки Земли с чрезвычайно малой амплитудой генерируют объемные волны [Weller, 1974]. Метод спектрального отношения горизонтальной компоненты движения грунта к вертикальной компоненте (H/V), предложенный Накамура [Nakamura, 1989], является одним из самых популярных методов, разработанных для анализа данных микротремора [Тарасов, 2020]. Этот метод, основанный на анализе данных микротремора по одной станции, может легко минимизировать эффект источника путем нормализации горизонтальной спектральной амплитуды с вертикальной спектральной амплитудой. Первым шагом для оценки данных микротремора с использованием метода H/V является удаление смещений для каждого сейсмического компонента. Этот процесс выполняется путем вычитания среднего значения сигналов из каждого сигнала временной области в сейсмических записях. При желании к записанному сигналу можно применить фильтр нижних частот для удаления высокочастотных составляющих. На следующем шаге производятся операции сужения и быстрого преобразования Фурье в каждой выбранной окне. Полученные спектры содержат множество выборок частоты, поэтому, сглаживание спектра Фурье производится функцией Конно-Омачи [Konno, 1998].

Результаты и обсуждения. В связи с улучшением инструментальных возможностей и требования к строительству, возрос интерес к расширению сведения о структурах грунта и процессах, протекающих в более глубоких горизонтах территории строительства.

Записи микросейсм производились полевыми портативными цифровыми широкополосными сейсмическими станциями, в состав которых входят сейсмические датчики Trillium Compact 20s с регистратором DATA-CUBE-24-bit. Запись микросейсм производилась в 3-ех точках непосредственно у основания объекта и на её поверхности. Регистрация данных велась сейсмическими станциями с частотой дискретизации 100 Гц.

Результаты оценки резонансной частоты, скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн, резонансной частоты (доминирующего пика) и стандартного отклонения проведены в виде таблиц (таблица 1 и 2) и рисунков (рисунок 1). По результатам

определения резонансной частоты также можно вычислить скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн в измерительной точке.

Таблица 1. Расчёт резонансной частоты на спектре методом Накамуры

№	Point	P	X	Y	Оценка резонансной частоты (Гц)
1		B	0.20	0.60	1.2
2		B	0.18	0.57	1.2
3		B	0.18	0.58	1.2
4		B	0.20	0.60	2.5
5		B	0.18	0.57	2.5
6		B	0.18	0.57	2.87
7		B	0.18	0.58	2.87

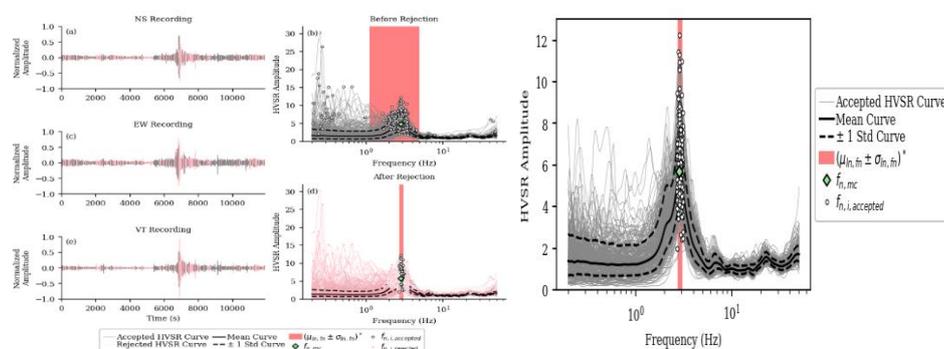


Рисунок 1. Результаты определения резонансной частоты в точке измерения №6

## Выводы

Конечной целью является сокращение потерь от стихийных бедствий во время землетрясения. Благодаря своим уникальным преимуществам технология HVSr достигла определенных успехов во многих аспектах.

Резюмируя вышесказанное можно утвердить следующее:

1. Самым большим преимуществом HVSr является то, что он может точно определить преобладающую частоту  $f_0$  по записи микросейсм.

2. В процессе применения метода HVSr в основном используются два типа выбранных данных; одна из них — S-волна, а другая — окружающий шум. Существуют относительно разные приложения, включающие влияние и классификация участков исследования, разведку полезных ископаемых и анализ структур по средней скорости поперечной волны в подстилающих слоях при поверхности.

С ростом урбанизации, исследования по изучению стабильности подземных сооружений, безопасность мостов и проектирование высотных зданий также значительно улучшились. Тем не менее, особое значение имеет анализ подземного слоя и структуры почвы.

## Библиография

1. Гамбурцев Г.А. Избранные труды. Изд. АН СССР. М.1960, - 461 с
2. Тарасов С.А., Гоев А.Г., Волосов С.Г., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Королёв С.А. Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых

сейсмических станциях ИДГ РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.04>

3. Aki, K. (1957) Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves with Special Reference to Microtremors, B. Earthq. Res. I. Univ. Tokyo, 35, pp. 415–456.
4. Cox, B. R., Cheng, T., Vantassel, J. P., & Manuel, L. (2020). "A statistical representation and frequency-domain window-rejection algorithm for single-station HVSR measurements. Geophysical Journal International, 221(3), pp. 2170–2183. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa119>
5. Douze, E. J. (1964) Signal and noise in deep wells, Geophysics, 29, pp. 721–732
6. Frantti, G. (1963) The nature of high-frequency earth noise spectra, Geophysics, 28, pp. 547–562
7. Vantassel, Joseph (2020). jpvantassel/hvsrpy: latest (Concept). Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3666956>
8. Kanai, K. (1962) On the spectrum of strong earthquake motions, Primeras J. Argentinas Ing. Antisismica, 24, pp. 68–73
9. Katz, L.J. (1976) Microtremor analysis of local geological conditions, B. Seismol. Soc. Am., 66, pp. 45–60
10. Konno, K. and Ohmachi, T. (1998) Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, B. Seismol. Soc. Am., 88, pp. 228–241.
11. Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quart. Report Rail. Tech. Res. Inst., 30(1), pp. 25–33,
12. Welch, P., (1967) The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Transactions on audio and electroacoustics, 15(2), pp.70-73.
13. Weller, C. E. (1974) Seismic Exploration Method, U.S. Patent, 3.812. 457.

*Современное состояние и направления развития физического моделирования на эквивалентных материалах в инженерно-геологических прогнозах*

*Лукина Е.С.\* (Санкт-Петербургский горный университет, Lukina\_ES@pers.spmi.ru),  
Поспехов Г.Б. (Санкт-Петербургский горный университет, pospehov@spmi.ru)*

**Аннотация**

Показана современная роль физического моделирования на эквивалентных материалах в инженерно-геологических прогнозах для обоснования мониторинга состояний природно-технических систем с целью обеспечения надежности и безопасности их функционирования. Приведены примеры физического моделирования в инженерно-геологической практике для нужд разработки месторождений полезных ископаемых. Раскрывается как создание физических моделей позволяет прогнозировать динамику развития горно-геологических процессов и их последствия.

Предлагается конкретизировать задачи и методы физического моделирования в рамках нормативных документов, предписывающих их применение при изучении взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений.

**Ключевые слова**

Физическое моделирование, эквивалентные материалы, инженерно-геологический прогноз, процессы и явления, прочность, напряженно-деформированное состояние

**Теория**

Результат инженерно-геологических изысканий – это прежде всего прогноз изменения инженерно-геологических условий в процессе осуществления хозяйственной деятельности человека. Поскольку любое изменение возникает в результате тех или иных процессов в геологической среде, то следует говорить о пространственно-временных прогнозах возникновения, активизации и развития геологических процессов и явлений в результате ожидаемого техногенного воздействия. Достоверный прогноз позволяет не только своевременно обосновать защитные мероприятия, но и предложить оптимальную схему мониторинга прогнозируемых изменений. Особенно это актуально вследствие следующих факторов: увеличение интенсивности строительных и горных работ; рост числа ответственных и уникальных зданий и сооружений; освоения новых территорий, в том числе ранее считавшихся неблагоприятными для освоения.

Одним из инструментов прогноза является физическое моделирование, когда для изучения процессов создаются модели, подобные реальным литотехническим системам. При физическом моделировании временной прогноз, как правило, привязан к этапам техногенного воздействия, а не к физическому времени. Сегодня физическое моделирование взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой является обязательным видом работ в рамках научно-технического сопровождения инженерно-геологических изысканий и проектирования согласно СП 539.1325800.2024, а также его применение может обосновываться в программе изысканий в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016. Применение физического моделирования при этом рассматривается только как предварительное и, чаще всего, осуществляется параллельно с использованием методов математического моделирования, которое значительно менее трудозатратное и требует меньше времени.

Основной сложностью широкого внедрения физического моделирования в практику является то, что для его выполнения необходимо привлечение специализированных организаций, обладающих необходимой научно-производственной базой, которая недоступна

подавляющему числу изыскательских организаций. Также физическое моделирование требует значительного времени и должно осуществляться после того, как будут завершены основные этапы полевых и лабораторных исследований в составе изысканий. При этом какой-либо дополнительной методической или нормативной базы, позволяющей при составлении программы инженерно-геологических изысканий обосновать выбор метода физического моделирования, в настоящее время нет.

Наибольшее развитие среди видов физического моделирования получил метод моделирования на моделях из эквивалентных материалов (ЭМ) в соответствии с критериями подобия, предложенный Г.Н. Кузнецовым в 1936 г. В настоящее время этот метод активно применяется при моделировании геомеханических процессов, в том числе нелинейных, обусловленных разработкой месторождений различными способами, позволяя решать следующие задачи: прогноз изменения напряженно-деформированного состояния в массиве; устойчивость откосных сооружений и подземных горных выработок; прогноз деформаций подработанного массива горных пород; прогноз развития водопроводящих трещин [2, 3, 4].

Разработка и внедрение широкого комплекса стендов, в том числе и автоматизированных, позволяют сегодня в лаборатории моделирования Санкт-Петербургского горного университета осуществлять разработку и испытание нескольких моделей ежемесячно. На рисунках 1 и 2 представлены соответственно общий вид стенда с моделью после испытаний и результаты обработки ее деформаций в процессе моделирования предложенной системы разработки с закладкой выработанного пространства на одном из калийных месторождений. По результатам моделирования для каждого этапа были установлены деформации массива, моменты формирования трещин и их развитие в процессе испытания, а также были определены степень нагружения целиков и твердеющего закладочного массива в зависимости от принятых параметров отработки и закладки.

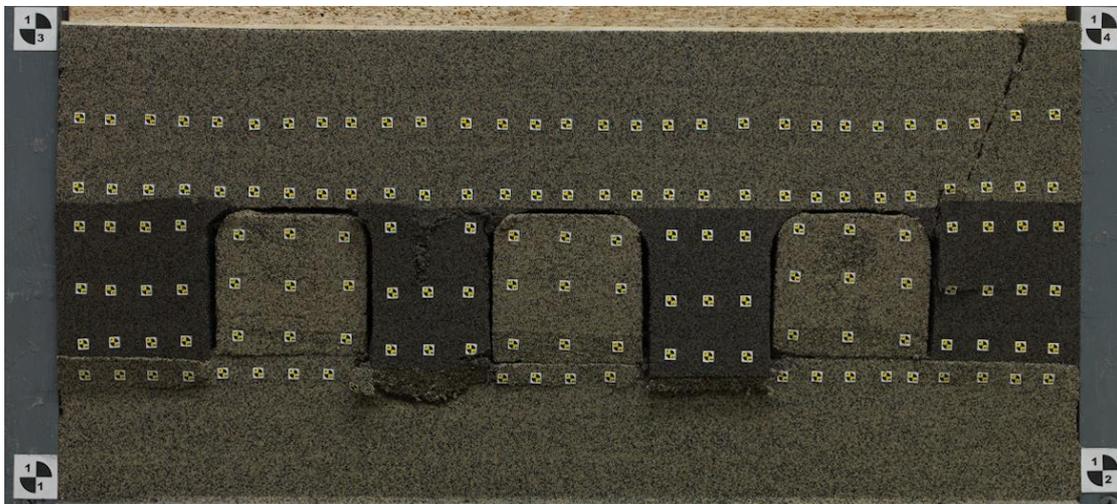


Рисунок 1. Вид модели из эквивалентных материалов после разрушения

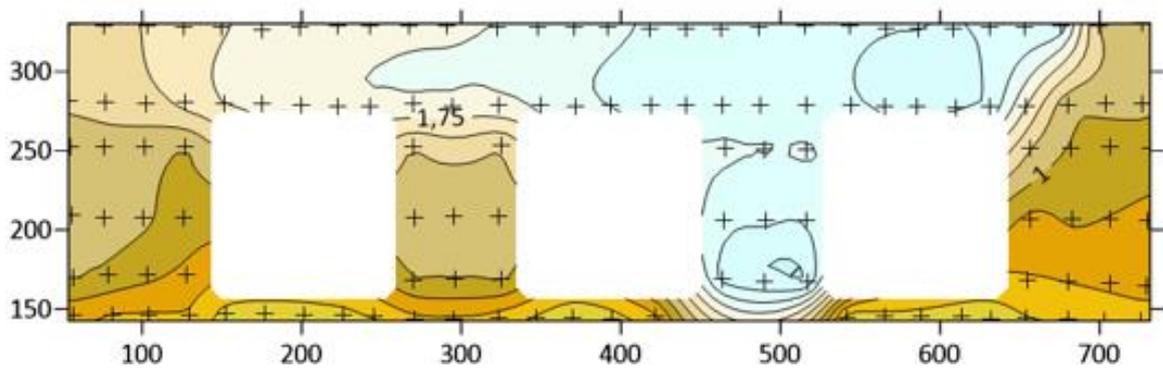


Рисунок 2. Интенсивность деформирования модели при поэтапной обработке и заложения выработанного пространства трех выработок, мм.

Несмотря на большую историю становления и развития физического моделирования на эквивалентных материалах в нашей стране и за рубежом на современном этапе можно выделить несколько основных направлений его совершенствования:

- 1) повышение точности соответствия прочностных и деформационных свойств ЭМ реальным горным породам с разработкой новых рецептов [1, 7];
- 2) расширение области применения физического моделирования на ЭМ на обеспечение размещения массивов техногенных горных пород в соответствии со сложностями изучения реальных подобных массивов [5, 6];
- 3) разработка корректных критериев учета неоднородности и анизотропии природных массивов в моделях;
- 4) интеграция с численными методами: сравнение результатов, полученных на физических моделях, с численными методами для повышения точности и надежности прогнозов.

Решение указанных задач позволит повысить эффективность и достоверность физического моделирования при решении задач прогноза возникновения и развития различных процессов и явлений в инженерной геологии.

### Выводы

Физическое моделирование, в том числе на эквивалентных материалах, позволяет решать широкий круг задач прогноза взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой, обеспечивая специалистов в области изысканий и проектирования достоверной информацией о закономерностях развития различных негативных геологических процессов и явлений.

Развитие метода моделирования на моделях из эквивалентных материалов должно быть направлено на расширение базы данных рецептов ЭМ, удовлетворяющих комплексу критериев подобия. При этом основной акцент должен быть направлен для получения ЭМ, моделирующих поведение горных пород низкой прочности и сильнодеформируемых.

Верификация методов физического моделирования на эквивалентных материалах может осуществляться за счет создания цифровых моделей физических, что позволит своевременно выявлять пути совершенствования испытаний, а также минимизировать необходимость их повторения при незначительных изменениях исходных параметров, характеризующих техногенное воздействие.

В связи с требованиями разработки программ геотехнического мониторинга на этапе научно-технического сопровождения проектирования предлагается физическое

моделирование сделать обязательным не только на этапе изысканий, но и при последующем обосновании проектных решений для ответственных и уникальных зданий и сооружений.

### **Библиография**

1. Басов В.В., Риб С.В. Подбор эквивалентного материала для физического моделирования геомеханических процессов в окрестности подготовительных выработок угольных шахт // Вестник СибГИУ. 2016. №4 (18). С. 32-35
2. Гусев, В. Н. Оценка высоты распространения зоны водопроводящих трещин в подрабатываемом массиве горных пород Верхнекамского месторождения соли / В. Н. Гусев, Б. Ю. Зуев, Е. Е. Одинцов // Маркшейдерский вестник. – 2022. – № 3(148). – С. 44-52. – EDN CYTRGA
3. Зуев Б.Ю. Исследование геомеханических процессов при подземной разработке полезных ископаемых на автоматизированном стенде для физического моделирования // Записки Горного института. 2010. Т. 185. С. 85-88.
4. Зуев Б.Ю. Методология моделирования нелинейных геомеханических процессов в блочных и слоистых горных массивах на моделях из эквивалентных материалов// Записки Горного института. 2021. Т.250. С. 542-552. DOI:10.31897/PMI.2021.4.7
5. Карасев М. А., Поспехов Г. Б., Астапенко Т. С., Шишкина В. С. Анализ моделей прогноза напряженно-деформированного состояния техногенных грунтов низкой прочности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11. – С. 49–69. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_11\_0\_49.
6. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Карасев М. А., Кутепов Ю. Ю. Прогноз формоизменения намывных массивов гидроотвалов при складировании на них отвальных насыпей // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 23—27. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.05
7. Холодилов А. Н., Истомин Р. С., Кириленко В. И. Совершенствование метода изготовления эквивалентных материалов для моделирования нелинейных геомеханических процессов при подземной разработке полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 10. – С. 108–122. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_10\_0\_108

## *Формация латеритная кора выветривания экваториальных стран и её трансформация*

*Ярг Л.А. (МГРИ, Liudmila.Yarg@yandex.ru)*

### **Аннотация**

Латеритная кора выветривания (КВ) формируется в течение геологических эпох, в пределах тектонических структур с определённым тектоническим режимом, вследствие миграционной подвижности элементов в зоне гипергенеза. Обсуждается роль тектоники в формировании латеритной КВ Гвинеи. В условиях геохимической и гидрохимической зональности происходит стадийное переформирование субстрата, определяющее инженерно-геологическую зональность и закономерную изменчивость физико-механических свойств грунтов. Являясь открытой системой, в КВ продолжают миграция железа, изменения микро- и макроструктур, геометрии порового пространства, формирование крупных полости карстового типа.

### **Ключевые слова**

Латериты, кора выветривания, миграция, зональность, структура

### **Теория**

Выветривание – геологический процесс взаимодействия горных пород, слагающих приповерхностную часть земной коры, с атмосферой, биосферой, искусственными компонентами природной среды, в ходе которого изменяются строение, состав, структурно-текстурные особенности и свойства горных пород, состав подземных вод и газов в зоне гипергенеза и формируется кора выветривания.

Пространственное положение (контакт между литосферой, с одной стороны, атмосферой, поверхностной гидросферой и биосферой, с другой), унаследованность в строении и составе характерных черт геологических и географических процессов (условий и обстановок литогенеза), а также многоцелевое практическое использование КВ и слагающих их горных пород, обусловило различные аспекты их исследования.

Изучению процесса выветривания большое внимание уделяли А.Е. Ферсман, В.И. Вернадский, Б.Б. Полюнов, Н.М. Страхов, С.С. Смирнов, И.И. Гинзбург, Перельман, В.И. Мамедов и другие исследователи. Основоположником этого направления по праву может считаться Б.Б. Полюнов, установивший миграционную подвижность элементов в зоне гипергенеза, определяющую степень устойчивости различных минералов к процессу выветривания. Проблема формирования состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств пород в процессе выветривания выдвигалась В. А. Приклонским, Н. В. Коломенским, С. В. Дроздовым, Г.С. Золотаревым, М. В. Чуриновым, Г. М. Аришидзе, Л.А. Молоковым, Э.А. Джавахишвили, Ю.Д. Матвеевым, Л. А. Ярг, И.В. Абатуровой . и др.

Проблема изучения процесса выветривания является одной из важнейших в инженерной геологии. С ней связано решение как научных, так и практических задач строительства. Являясь звеном в цепи процессов лито-петро-аквагенеза, он предшествует многим экзогенным геологическим процессам: оползней, селей, обвалов и др. Глубина заложения, фундаментов наземных сооружений, конфигурация и углы заложения откосов и карьеров зависят от состава и свойств выветрелых пород. Специфика инженерно-геологического изучения процесса выветривания состоит в необходимости количественной оценке свойств, степени и скорости выветривания различных пород.

Продукт выветривания – **кора выветривания (КВ)**- структурированный геологический объект, обладающий рядом характерных черт:

- зональным строением, без четко выраженных геологических границ, с постепенным замещением одних горных пород другими (с иными составом, структурой, текстурой);
- постепенным «отмиранием» генетических признаков материнской породы (субстрата) и накопление черт, присущих осадочным породам, сформированным в приповерхностных термодинамических условиях;
- присутствием в пределах разреза пород - от трещинных скальных до латеритов, отличных по дисперсности и другим свойствами;

Латеритная КВ – это одно из наиболее характерных гипергенных образований тропической зоны Земного шара (Африка, Южная и Юго-Восточная Азия, Центральная и Южная Америка), где латериты покрывают обширные плато и пенепплены. Возраст КВ— от мелового до современного, мощность достигает 100м и более.

Среди всех континентов наибольшие площади латеритных КВ расположены в Африке (рис. 1), характеризующейся совокупностью благоприятных условий образования КВ: приуроченностью к глобальным эпохам выветривания с тропическим климатом, тектоническим режимом с преобладающими положительными движениями, способствующими пенеппенизации рельефа и образованию поверхностей выравнивания; длительностью периода их формирования.

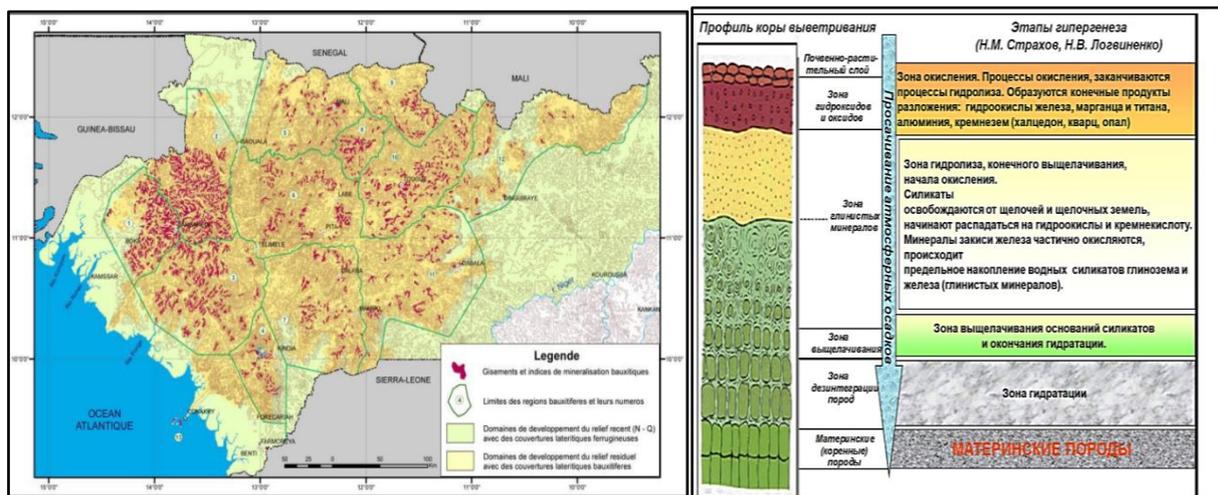


Рисунок 1. Карта распространения бокситоносных КВ Гвинеи, полный профиль КВ

Территория Африки занимаем древнюю докембрийскую Африкано-Аравийская платформу, фундамент которой выступает на поверхность в пределах многих кристаллических массивов. Леоно-Либерийский щит – самый из них крупный является основной тектонической структурой Гвинеи, Кот-д’Ивуара, Ганы.

Взаимодействие литосферы с атмосферой, космосом и другими сферами осуществляется в форме массо-энергообмена. Энергия внешних сред расходуется при выветривании на увеличение удельной поверхности породы, ее разуплотнение, дезинтеграцию, изменение химического, минерального и гранулометрического составов, структуры, текстуры и физико-механических свойств пород.

Миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе бокситоносной КВ определяет геохимическую и гидрогеохимическую зональность строения, наличие которой отмечал Н.М. Страхов, И.И. Гинзбург, В.И. Мамедов, С.Л. Шварцев и др.

Движению подземных вод в массиве КВ свойственны особенностей, среди которых эффект двойной пористости, фильтрационная анизотропия, связанные с наличием крупных

трещин, разломов, каверн. Уровень грунтовых вод в КВ является геохимическим барьером, на котором формируются железосодержащая кираса - ферриплантиты [1].

Вертикальная гидрохимическая и геохимическая зональность в профиле коры выветривания способствуют формированию инженерно-геологической зональности [2,3]. Пять зон КВ выделены на основе комплекса признаков-параметров: состава (типоморфных минералов), структурных связей минерального уровня и эффективных, структурно-текстурных особенностей, поровой и трещинной пустотности. В полном профиле коры выветривания, формирующихся в условиях влажных тропиков, выделяются пять зон (сверху вниз): V - зона вторичной цементации (кираса, структурный боксит); IV - дисперсная зона: 1У-6 – латеритная, 1У-а - глинистая); III - зона литомаржа; II - обломочная зона: II-б - щебнистая; II-а – глыбовая; I - трещинная зона.

Представленные на рис. 3 микроструктуры зоны бокситов с разных глубин, демонстрируют щелевидную морфологию пор, формирующуюся в результате процессов миграции и осаждения железа с увеличением его точечного содержания до 46% на границе геохимического барьера.

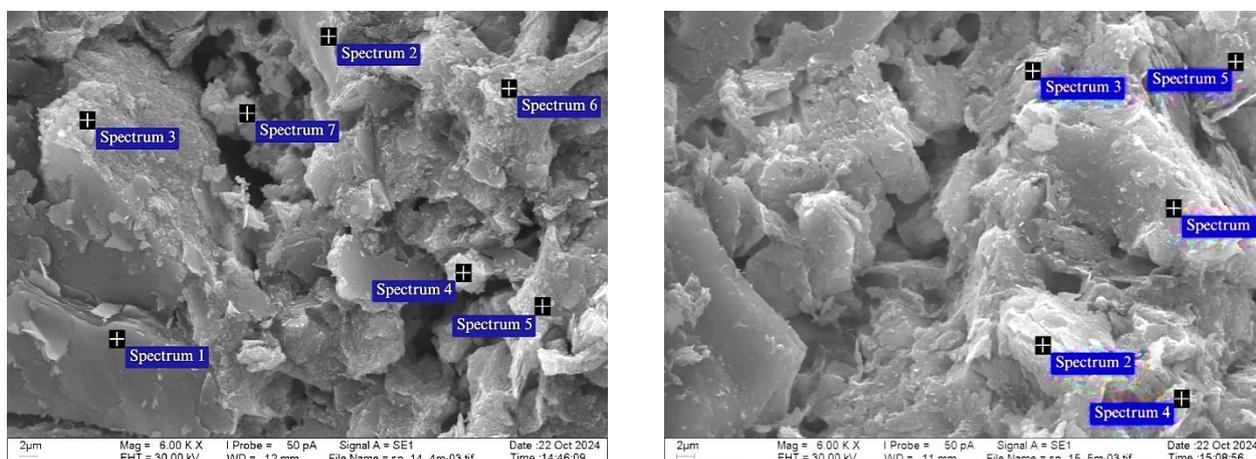


Рисунок 2. Микроструктура бокситов Гвинея, глубина отбора пробы – 3м. Крестики – точки диагностики зондом (Al=17-22; Fe10-46) и 5м (Al= 20-22; Fe0=4,7); Si = 22-27%

Физико-механические свойства пород коры выветривания характеризуются изменчивостью по глубине, связанной с зональностью её строения (рис. 4).

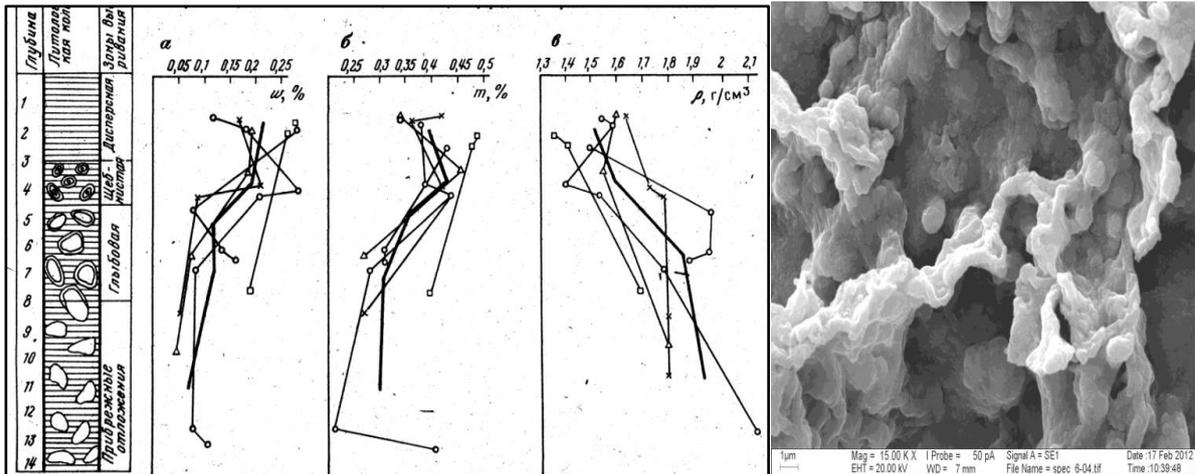


Рисунок 3. Изменение частных и средних значений показателей влажности (а), верхнего предела пластичности (б), плотности (в) грунта КВ (Конакри, Гвинея), петельчатая структура железа и формированием кавернности на микроуровне

### Заключение

Латеритная КВ. экваториальных стран характеризуется всеми признаками формации:

- формирование в течение геологических эпох (Mz. Kz),
- в пределах тектонических структур с определённым тектоническим режимом (кристаллические массивы),
- закономерным соотношением слагающих ее пород (зональность строения),
- механизмом формирования (миграционной подвижностью элементов в зоне гипергенеза).

Кора выветривания, являясь открытой системой, продолжает трансформироваться под влиянием компонентов атмо-, гидро-, биосферы, подземных вод. Наблюдается миграция железа, изменении микро- и макроструктуры, геометрии порового пространства и увеличение дискретности массива пород, слагающих КВ, с формированием каверн и карста в зоне вторичной цементации.

### Библиография

1. Буфеев Ю.В., Мамедов В.И., Никитин Ю.А. Геология Гвинеи. М., Изд-во МГУ. 2011. 341 с.
2. Ярг Л.А. Пространственная изменчивость мощности тропической коры выветривания. — // Геология и разведка. 9/1980.
3. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. - М., Недра. 1991. 139с.
4. Ярг Л.А., 2014. Эволюция кор выветривания Земного шара. //Геология и разведка. 5/2014, с.53-74.
5. Ярг Л.А. (в соавторстве Невечеря В.В., Камаре С.С.). Специальная инженерно-геологическая карта распространения эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинеи. — // Геология и разведка. 6/2023.

## Оценка Сложности Инженерно-Геологических Условий Трассы Скоростной Железной Дороги Янгон-Нейпидо

*Е Хмет Зо (МГРИ, yehtetzaw.74751@gmail.com),  
Ярг Л.А. (МГРИ, Liudmila.Yarg@yandex.ru)*

### Аннотация

Доклад посвящён оценке сложности инженерно-геологических условий при проектировании высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) Янгон–Нейпидо (Мьянма), протяжённостью 380 км. Основное внимание уделено анализу природно-технической системы трассы, пересекающей сейсмически активную долину реки Иравади, сформированную миоценовыми отложениями и аллювиальными грунтами. Рассмотрены ключевые риски: высокая тектоническая активность (разлом Сагаинг, субдукция Индийской плиты), разжижение грунтов, оползни, сезонные наводнения. Особое значение придаётся взаимодействию инфраструктуры с окружающей средой, включая динамико-механические, электрические и гидродинамические воздействия. На основе инженерно-геологических исследований предложены рекомендации: микросейсмическое районирование, оценка параметров физико-механических свойств грунтов с доверительной вероятностью 0,99, меры по минимизации экологического ущерба.

### Ключевые слова

Природно-техническая система, сфера взаимодействия, инженерно-геологических условий и процессы, сейсмичность

*Цель исследований;* оценка сложности инженерно-геологических условий при проектировании высокоскоростной железнодорожной магистрали. Дорога, протяжённостью 380 км соединит бывшую и новую столицы.

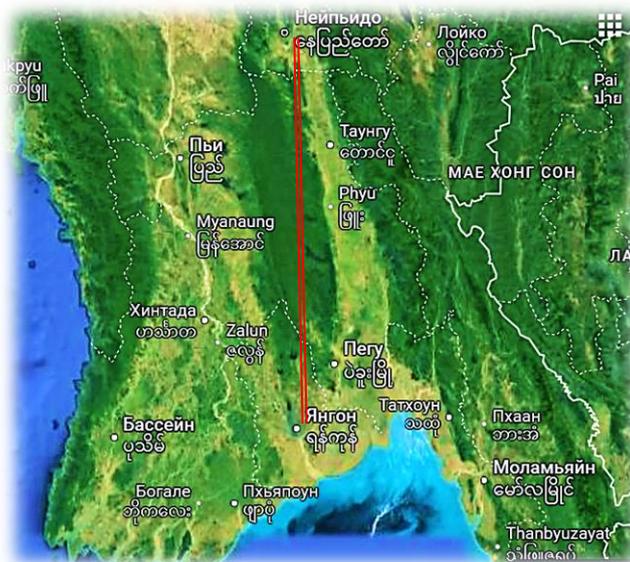


Рисунок. 1. Положение трассы ВСМ «Янгон-Нейпидо»

Трасса пройдёт по Иравадийской равнине, пересекаемую с севера на юг р. Иравади, образующей широкую террасированную долину. В 300 км от устья начинается плоская,

сильно заболоченная Дельта, которая подразделяется на три зоны: приливный прибрежный фронт (включая обширные мангровые заросли); солоноватая эстуарная зона; пресноводная пойма. Эти зоны смещаются в периоды приливов и вторжением морской воды.

В геологическом отношении дельта Иравади является частью Внутреннего третичного бассейна. Равнина сложена четвертичными флювиальными отложениями, представленными песками, гравием и глинами, подстилаемые песчаниками формации Itgawaddy Fm, мощностью до 3050 м. На западе миоценовые песчаники слагают хребет Баго-Йома, который в плио-плейстоцене были подняты на высоту 900-1200 м. Для аллювиальных грунтов присуще: - фациальная изменчивость а, m, lm, afmQ, - пестрый литологический состав, - широкое распространение органоминеральные грунтов, - неоднородность грунтов по глубине до 150м и простирацию, высокая степень водонасыщения, - слабая степень литификации, - низкие значения прочности и сжимаемости.

Мьянма (Бирма) - одна из самых сейсмически активных стран Юго-Восточной Азии. В структурно- тектоническом отношении эта впадина образована в результате субдукции Индийской плиты под Евразийскую, со скоростью около 4 -5 см/год, что приводит к образованию разломов и складок. Разлом Сагаинг– один из самых активных правостдвиговых разломов в мире, протянулся на 1200 км через центральную часть Мьянмы. Уровень сейсмической активности чрезвычайно высок: ежегодно в Мьянме регистрируются десятки землетрясений магнитудой 4.0 и выше. К опасным явлениям, порождаемыми землетрясениями, относятся: собственно сейсмические сотрясения, проседания земной поверхности, сеймотектонические разрывы, возникающие моментально; виброразжижение, выбросы разжиженных грунтов (рис.2).

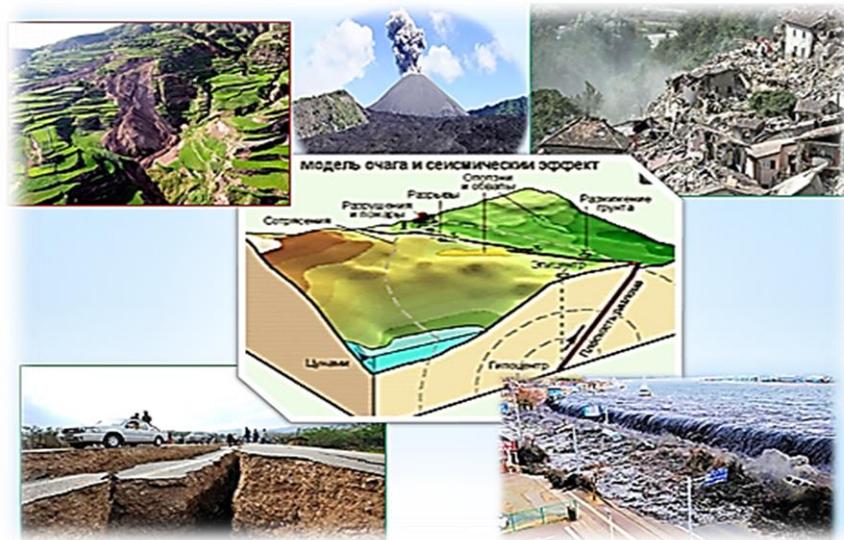


Рисунок.2. Сейсмические эффекты землетрясений

Высокоскоростная железнодорожная магистраль (ВЖМ) – это принципиально новый высокотехнологичный транспортный объект. Она состоит из таких основных элементов как железнодорожный путь, электроснабжение, автоматика и телемеханика, связь, сигнализация. В основу работы положен непрерывный контроль перевозочного процесса: определение местоположения поезда, вычисление расстояния между составами, контроль скорости на участке, расчёте кривой торможения, сопоставлении данных о маршруте с техническими характеристиками поезда (рис.3).

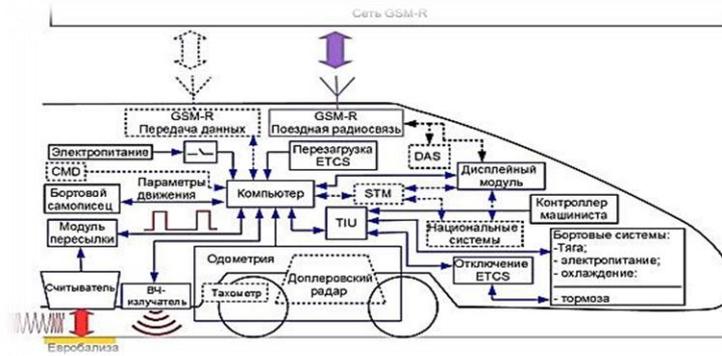


Рисунок.3. Приём, обработка и передача всей информации осуществляется комплексом напольных и бортовых устройств и систем ETCS

Земляное полотно воспринимает нагрузку от рельсо-шпальной решетки, балласта и подвижного состава ее на ниже лежащий грунт (рис.4), оказывая на него техногенные воздействия (табл.1).

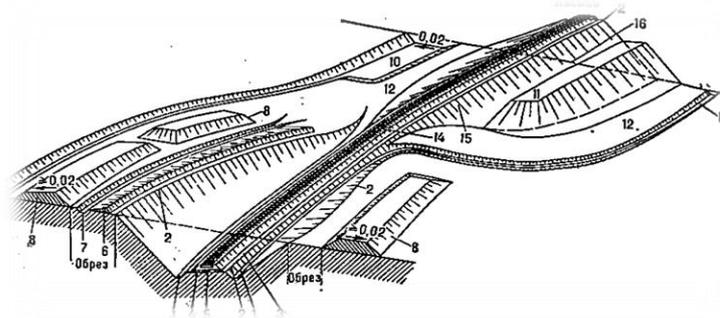


Рисунок.4. Элементы земляного полотна железной дороги: 1 Кюветы; 2 Бровка земляного полотна; 3 Обочина; 4 Сливная призма; 5 Основная площадка, 6 Банкет; 7 Забанкетная канава; 8 Кавальер; 9 Нагорная канава; 10 Резерв; 11 Контр-банкет; 12 Берма; 13 Водоотводная продольная канава; 14 Нулевое место; 15 Откос; 16 Основание насыпи

Таблица 1. Техногенные взаимодействия подсистемы «сооружения»с компонентами природной среды линейной ПТС

Виды взаимодействий	Источники взаимодействий. Формирование техногенных полей	Характеристики взаимодействий
Динамико-механическое	железнодорожный транспорт. Поле низкочастотных механических колебаний	Интенсивность движения, ед./сут, скорость движения, км/час
Электрическое	Системы электроснабжения и электрохимической защиты. Формирование блуждающих токов	Плотность поляризующего тока (А/м <sup>2</sup> ), напряженность поля блуждающего тока (В/м),
Ударно-динамические	Силовых воздействий в системе «колесо – рельс	Интенсивность транспортного потока, ед./час
Шумовое	Движение транспорта	

Гидро динамическое	Барражный эффект. Поле влажности	Градиент напора
--------------------	----------------------------------	-----------------

СЖТ является линейной природно-технической системой, в сфере взаимодействия которой развиваются инженерно-геологические процессы (таблица2).

Таблица 2. Инженерно-геологические процессы, развивающиеся в области влияния линейной ПТС

Инженерно-геологические процессы	Взаимодействия и их источники	Геологические параметры условий процессов
Вибрационное уплотнение и разжижение грунтов	Динамико-механическое: прохождение транспорта,	Уровень грунтовых вод, состав и мощность слабых грунтов (техногенных, дисперсных, текучих)
Электрохимическая коррозия	Электрическое: системы электроснабжения и электрохимической защиты	Минеральный состав пород, УГВ, влажность грунтов зоны аэрации, минерализация, рН, температура грунтовых вод
Химическое загрязнение	Химическое: выбросы при движении транспорта;	минеральный, грансостав и водопроницаемость грунтов зоны аэрации

### Выводы

К основным угрозам СЖТ «Янгон–Нейпидо» относятся: неоднородность аллювиальных грунтов, что вызывает неравномерную осадку зданий; высокий уровень грунтовых вод, увеличивающий риск подтопления и коррозии; сейсмическая активность, способная вызывать разрушения и трещины; разжижение грунтов аллювиальных песков при землетрясениях; оползни; сезонные наводнения, приводящие к деградации земель и инфраструктуры; напряжение у разлома Сангаинг, создающее риск внезапных деформаций. Все эти факторы могут привести к разрушению инфраструктуры, человеческим жертвам и значительным экономическим потерям.

### Библиография

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии. КДУ, Москва. 2015.,295с
2. Ярг Л.А. 2020. Инженерно-геологические структуры Мьянмы. Тез. док. XIV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
3. Ярг Л.А., Пхё Ко Ко. 2021. Инженерно-геологические исследования при проектировании сооружений в областях повышенного риска землетрясений (Мьянма). Тез. док. XV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
4. Geologic evident for great Holocene earthquakes off Myanmar. International Symposium on Giant Earthquakes and Tsunamis, Phuket 2008, Abstract Volume, 9-10. Tint Lwin Swe, 2006.

### *Программа организации мониторинга г. Янгона*

*Ней Ла (МГРИ, [blackspace742@gmail.com](mailto:blackspace742@gmail.com)),  
Ярг Л.А. (МГРИ, [Liudmila.Yarg@yandex.ru](mailto:Liudmila.Yarg@yandex.ru))*

#### **Аннотация**

Излагаются принципы организации мониторинга локальной природно-технической системы «Город Янгон», учитывающие зональные (климатические) и региональные условия объекта, функциональную структуру мегаполиса, и характер геологических и инженерно-геологических процессов, развивающихся в сфере взаимодействия ПТС.

#### **Ключевые слова**

Мониторинг, сейсмичность, взаимодействия, процессы

#### **Теория**

*Цель исследований:* разработка программы организации мониторинга, обеспечивающего оценку текущих и прогноза будущих состояний ЛТС города, с учётом пространственной структуры и механизм процессов, протекающих в ОВЛ (естественных и техногенных).

Прогрессирующее разнообразных техногенных взаимодействий в пределах городских территорий существенно изменяет: рельеф, геологическое строение, состояние и свойства грунтов, поверхностных и подземных вод, провоцирует развитие инженерно-геологические процессов: оседание земной поверхности, подтопление территории, загрязнение компонентов литосферы и др.

Янгон (столица Мьянмы до 2005г): крупный мегаполис с богатой историей, основанный в 1044г, является экономическим и культурным центром страны.

Мьянма является жаркой тропической страной, расположенной в Тропике Рака, к северу от экватора Центральная часть Мьянмы занята обширной равниной Иравади, южная часть которой – плоская заболоченная дельтовая низменность, с абс. отм. не превышающими 15 м Город расположен в Нижней Мьянме у слияния рек Янгон и Пегу, Впадина Иравади заполненной мощной толщей аллювиальных отложений, перекрывающих песчано-глинистую формацию *Irrawaddy Fm.* для аллювиальных грунтов присуще: - фациальная изменчивость а, m, lm, afmQ, -пестрый литологический состав, -широкое распространение органо-минеральные грунты, -неоднородность грунтов по глубине до 150м и простираению, высокая степень водонасыщения, -слабая степень литификации, -низкие значения прочности и сжимаемости. Аллювиальный водоносный комплекс простирается до глубины от 10 до 50 м. Соленость, вызванная вторжением морской воды, является важной проблемой региона.

Аллювиальный водоносный комплекс простирается до глубины от 10 до 50 м. Соленость, подземных вод, вызванная вторжением морской воды, является важной проблемой региона. Долина Иравади является активной тектонической зоной, с высокой сейсмичностью. Геологические процессы, создающие риск функционированию города: платформенный и морской вулканизм, землетрясения, цунами. Экзогенные геологические процессы: речная эрозия, наводнения и заболачивание, оползни, разжижение грунтов.

Пространственная структура города ЛТС «Город Янгон» (рис 1,2), занимающая площадь 10276,7 км<sup>2</sup>, ограничена кольцевой железной дорогой, протяжённостью 46 км, насчитывающая 39 станций, включает Международный аэропорт, расположенный в 19 км от центра города и речной порт с 4 пассажирские пристани.



Рисунок 1. Содержательная структура подсистемы сооружения ЛПС «Город Янгон»

*Мониторинг ПТС.* «Цель мониторинга установления тенденций изменения состояния окружающей среды в пространстве и во времени под влиянием техногенных и техноплангенных процессов, диагностирование текущих состояний ПТС, прогнозирование будущих состояний ПТС». «Система слежения мониторинга есть упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность пунктов получения информации (СППИНФ) о состоянии ПТС в заданные моменты или интервалы времени».

Таблица 1. Мониторинга ПТС «Янгон» (Мьянма). Механизмы процессов взаимодействия в локальной природно-технической системе «Город Янгон» и система пунктов получения информации

Геологические процессы	Возмущающие взаимодействия	Характеристики процесса	СППИНФ
Сейсмический мониторинг	Землетрясения		Сейсмостанция г. Янгон
Загрязнение воздуха	Автомобильный транспорт, аэропорт	Концентрации диоксида серы, оксида углерода, диоксида и оксида азота, формальдегида, бенз(а)пирена.	стационарные посты наблюдательной сети
Загрязнение поверхностных вод	Техносфера:	промышленные и бытовые загрязнения $Cl$ , $NO_3$ , $NO_2$ , $NH_4$	стационарные посты на реках Янгон, Пегу Озёра Инья водохранилищах
Загрязнение подземных вод	Техносфера: Промышленные зоны, склады, свалки	Тяжелые металлы (микроэлементы) I - III класса опасности, промышленные и бытовые загрязнения $Cl$ , $NO_3$ , $NO_2$ , $NH_4$	Режимные скважины
Загрязнение почв, грунтов, донных отложений	Объем твердых отходов	Тяжелые металлы Нефтепродукты; нитраты; Пестициды	стационарные точки

Статическое уплотнение грунтов оснований зданий	Величина нагрузки	Величина оседания и скорость оседания земной поверхности (мм и м/год);	Репера,
Деформации и повреждения зданий и сооружений		Характер деформаций и повреждений зданий	Репера, марки расположенные на сооружениях
Динамическое уплотнение грунтов оснований дорог наземного транспорта	Интенсивность транспортного движения	Оседание поверхности дорог; нарушение сплошности каменно-бетонного покрытия дорог	Профиль дорожного полотна
Вибрационное разжижение грунтов	Землетрясения	Оседание и разрывные нарушения поверхности дорог	Профиль дорожного полотна
Подтопление	Величина утечек, полива	Площадь подтопления	Пьезометрические скважины
Коррозия металлических конструкций	Напряжённость поля блуждающих токов	Скорость коррозии металлов (мм/год)	Профиль
Речная эрозия	Уровень воды в реке, м	Скорость обрушения берегов, пораженность берега	Посты наблюдения на реках.
Заиление русел и устьев рек	Содержание твердого стока в воде, г/л	Скорость заиления, м /год	Створ
Оползневой процесс	Величина утечек, пригрузка – подрезка склонов,	Величина и скорость перемещения оползневой тела (мм и м/год);	тр, Инклинометр, репера,
Приливно-отливная эрозия	Уровенный режим воды	Скорость разрушения приповерхностной части ОВЛ	Профиль

	1
	2
	3
	4
	5



Рисунок 2. Структура система мониторинга ЛТС «Город Янгон» : СППИНФ:  
1 – сейсмостанция; 2 – поверхностные воды, донные осадки; 3 - атмосферный воздух; 4 – речная эрозия; 5 – подземные воды

### Выводы

Предлагаемая программа организации системы мониторинга позволит дать оценку и прогноз состояния инженерно-геологической среды, и разработать управляющие мероприятия, обеспечивающие безопасное функционирования города. Она включает режимную сеть пунктов получения информации за развитием неблагоприятных процессов, в частности, загрязнения окружающей среды (воздуха, почв и грунтов, донных осадков, поверхностных и подземных вод), подтопления, оползневого процесса, речной эрозии. Периодичность и технология организации мониторинга является следующим этапом работ, и должен включать обоснование пространственного размещения СППИНФа, периодичность режимных наблюдений технологии выполнения работ.

### Библиография

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии. КДУ, Москва. 2015., 295с.
2. Бондарик Г.К., Л. Чан Мань, Ярг Л.А., 2009 Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов. ОАО «ПНИИС», Москва.
3. Ярг Л.А. 2020. Инженерно-геологические структуры Мьянмы. Тез. док. XIV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
4. Ярг Л.А., Пхё Ко Ко. 2021. Инженерно-геологические исследования при проектировании сооружений в областях повышенного риска землетрясений (Мьянма). Тез. док. XV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
5. The seismic zone map of Myanmar (Revised version, 2005), Myanmar Earthquake Committee, Myanmar Engineering Society. Myanmar Earthquake Committee (2003).
6. The seismic zone map of Myanmar (Revised version, 2005), Myanmar Earthquake Committee, Myanmar Engineering Society. Myanmar Earthquake Committee (2003).

**Факторы риска строительства сооружений в г. Нейпидо**

**Хтет Мьят Аунг (МГРИ, htetmyataung1713@gmail.com),  
Ярг Л.А. (МГРИ, Liudmila.Yarg@yandex.ru)**

**Аннотация**

Сложность инженерно-геологических условий строительства в столице Мьянмы Нейпидо. обусловлены высокой сейсмичностью региона, порождающей опасные явления: сейсмоструктурные разрывы, виброразжижение, выбросы разжиженных грунтов, гравитационные и вибрационные трещины, проседания земной поверхности, сейсмические сотрясения.

**Ключевые слова**

Структуры, сейсмичность, виброразжижение

Нейпидо, новая столица Мьянмы с 2005 года, является административным и политическим центром страны. Здесь сосредоточены ключевые правительственные учреждения, включая парламент и президентский дворец. Площадь Нейпидо составляет 18 270 кв. км, что делает его третьим по величине городом Мьянмы после Янгона и Мандалая. Население города — около 1 миллиона человек. Необычна его структура: он состоит из 8 районов: секторы министерств, правительственных и военных зданий, гражданских сооружений и туристической зоны.

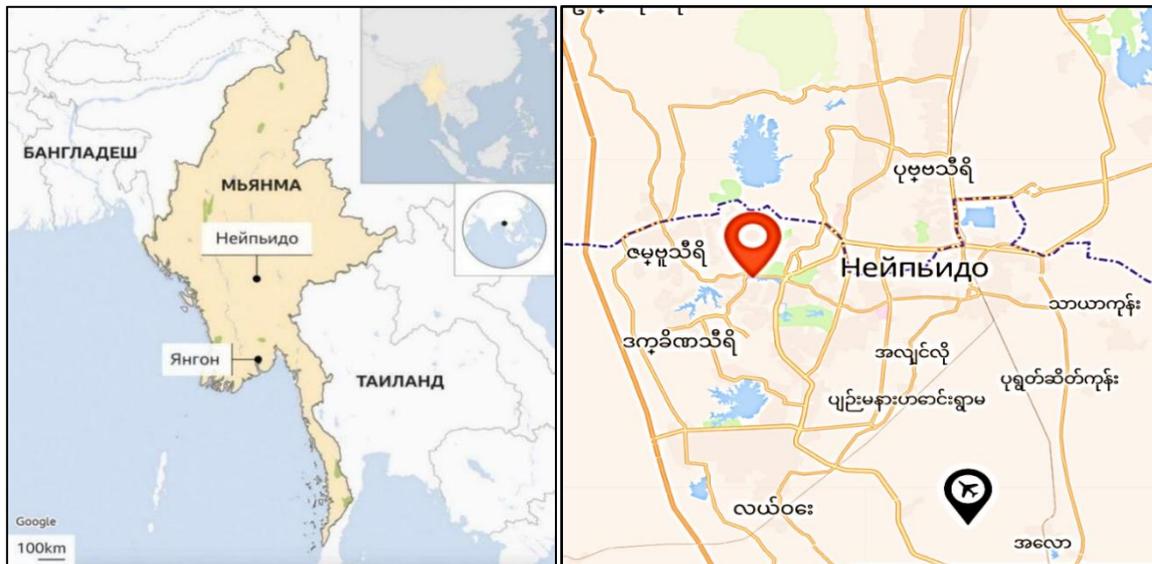


Рисунок 1. Местоположение столиц и структура г. Мьянмы

Географическое положение: Страна, расположена в Тропике Рака, к северу от экватора. Средняя годовая температура воздуха +32°C. Количество атмосферных осадков в сезон муссонов в прибрежных районах составляет от 2500 до 5000 мм /год в дельте нижней Мьянмы.

Геологическая структура: Мьянма находится на границе между различными тектоническими плитами, что делает его частью сложной тектонической системы. Основные тектонические структуры региона включают Бирманскую плиту, которая движется в северо-восточном направлении и взаимодействует с Индийской плитой. . Результатом столкновения плит являются современный структурно-тектонический план и обширные системы

тектонических разломов, пересекающих территорию Мьянмы. Основными тектоническими провинциями, протягивающимися с севера на юг являются: I террейн - Прибрежный пояс Ракхайн; II Западный Индо-Бирманский складчатый пояс; III Центральный кайнозойский пояс – впадина Иравади; IV террейн Восточный Шан-Блок (рис. 2).

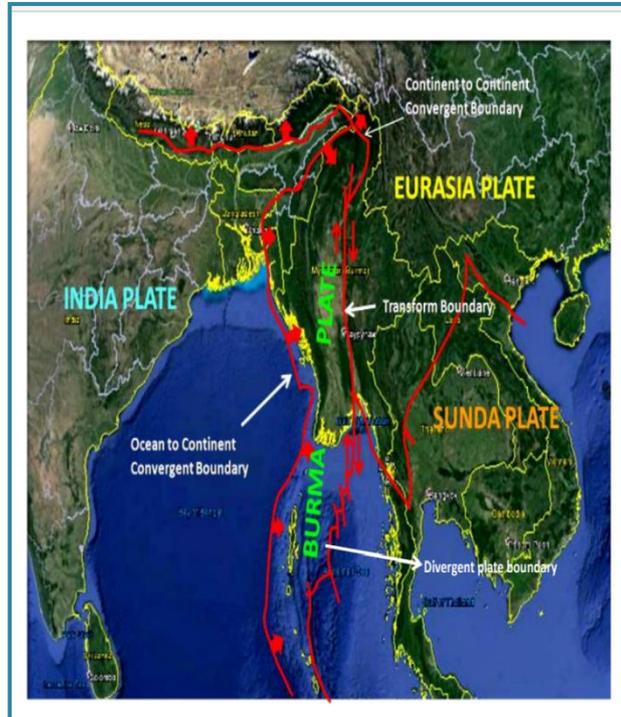


Рисунок 2. Средиземноморско-Трансазиатский сейсмический пояс - зона соприкосновения литосферных плит, с которой связано 95% землетрясений, происходящих на планете

Сейсмичность и землетрясения. Мьянма подвержена землетрясениям, поскольку она находится в одном из двух сейсмических поясов— **Средиземноморско-Трансазиатском поясе**, который простирается с северного Средиземноморья на восток через Турцию — Иран — Афганистан — Гималаи — Мьянму — Индонезию. Нейпидо существуют землетрясений.

Тремя основным причинам землетрясения в Мьянме являются (рис.2, 3):

- 1) Субдукция Индийской плиты под Бирманскую плиту со скоростью 3,5 см/год.
- 2) Активное движение литосферных плит в южно-центральной части Мьянмы со скоростью 2,5–3,0 см/год (Vertrand et al., 1998; Currag, 2005).
- 3) Правосторонние смещения вдоль трансформного разлома Сагайнг (скорость 18–20 мм/год) (рис. 3). Разлом прослеживается с севера на юг на 1500 км, (проходя через крупные города Нейпидо, Баго, Мандалай, вблизи Янгона). Ширина зоны разлома от 20 км (к югу от Баго) до 2 км, глубина блокировки оценивается в 15 км и который является причиной разрушительных землетрясений в Мьянме с  $M > 7$ . В 2012 году в районе Нейпидо произошло землетрясение магнитудой 6,8, которое причинило ущерб зданиям и инфраструктуре города.

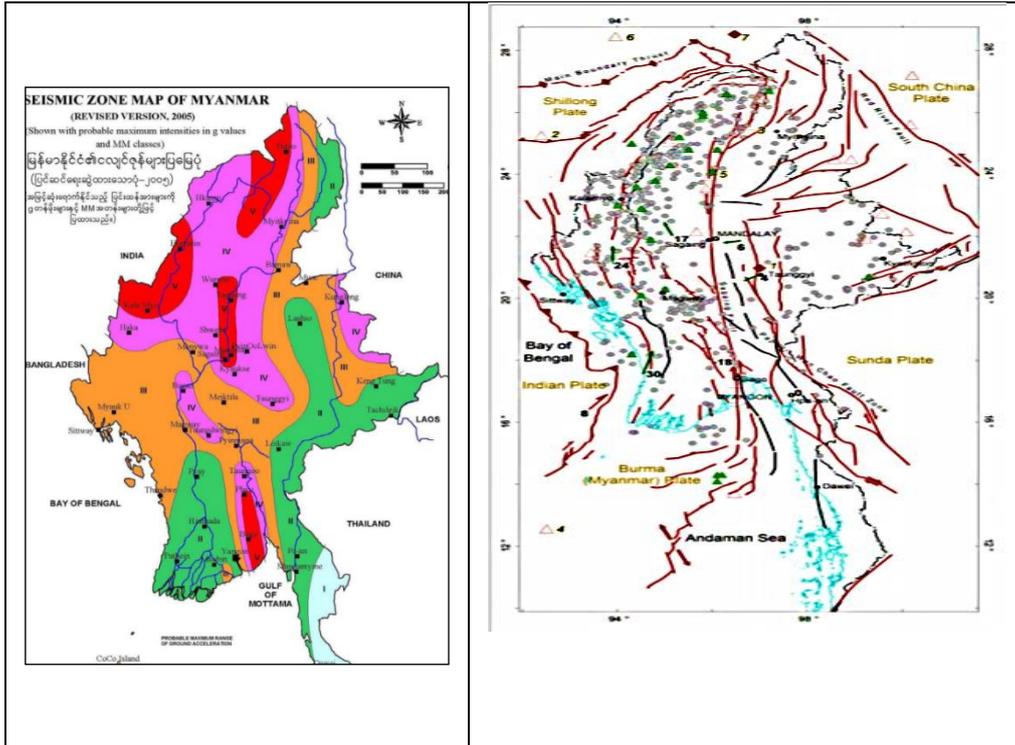


Рисунок. 3.А Карта сейсмического районирования территории Мьянмы: интенсивность землетрясений по шкале Мерккали. 3.Б. Сеймотектоническая карта Мьянмы обозначены: красным цветом активные разломы, точками – места землетрясений (1912-2010 гг.)

К опасным явлениям, порождаемыми землетрясениями, относятся (рис.4): собственно, сейсмические сотрясения; гравитационные и вибрационные трещины, выбросы разжиженных грунтов; проседания земной поверхности; сеймотектонические разрывы, смещения по активным разломам, оползни, цунами.

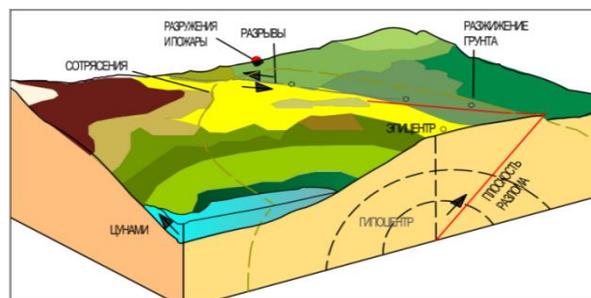


Рисунок. 4. Объёмная модель сейсмического эффекта

Состав и строение грунтов основания сооружений: Долине Иравади присуще широкое распространение пород аллювиальных отложений плейстоценового возраста, мощностью более 3 000м, с несогласием перекрывающих. полускальные третичные песчаники и аргиллиты, которые вследствие неотектонических подвижек, характеризуются блочностью строения и довольно низкими прочностными свойствами. Аллювиальные отложения характеризуются циклическим строением, фациальной изменчивостью, неоднородностью грунтов по простиранию и по глубине.

Механизм формирования неоднородности аллювия (рис. 5) включает: цикличность строением, присуща аллювию крупных тропических рек, процесс динамическое разжижение: перехода водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием сейсмических волн. Явление часто проявляется в форме горизонтального распространения lateral spreading, а также фонтанных выбросов воды, песка, и относительно крупных твердых обломков, высокое напряженное состояние массива и процесс выпучивания плотных блоков песчаника в рыхлые отложения.

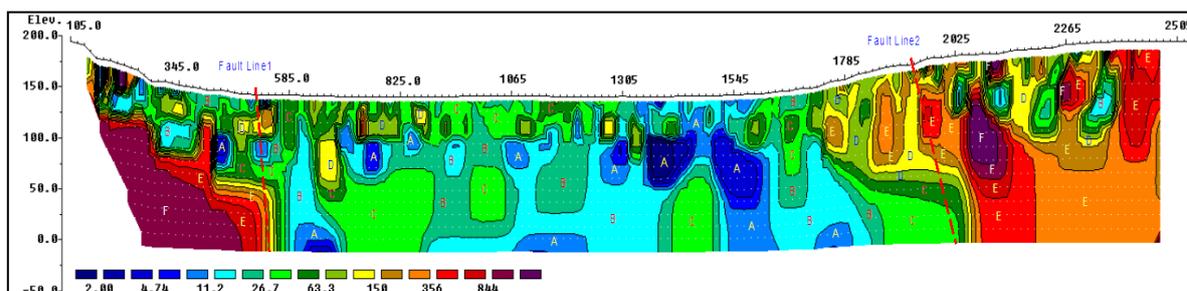


Рисунок. 5. Инженерно-геологический разрез по линии хр. Пегу Йома – впадина Иравади – плато Шан по данные электропрофилеирования: длина профиля 2310м, глубина захвата - 150м

### Выводы

Мьянма характеризуется чрезвычайно неблагоприятными инженерно-геологическими условиями: неоднородность строения массива, пространственная изменчивость состава и свойств аллювиальных грунтов, залегающих на разрушенных песчаниках, близость трансформный разлома Сагаинг.

Высокая сейсмичность порождает опасные явления: сеймотектонические разрывы, виброразжижение: потеря несущей способности водонасыщенных дисперсных грунтов, выбросы разжиженных грунтов, гравитационные и вибрационные трещины, проседания земной поверхности, сейсмические сотрясения.

При проектировании сооружений необходимо выполнение сейсмического микрорайонирования, с учетом локальных, грунтовых и гидрогеологических условий для определения аддитивной поправки к значению исходной сейсмической интенсивности в баллах.

В качестве рекомендации: назрела необходимость разработки карты риска разжижения грунтов для территории города Ньейпидо.

### Библиография

1. Ярг Л.А., 2014. Эволюция кор выветривания земного шара. Геология и разведка №5, с.53-74.
2. Ярг Л.А. 2020. Инженерно-геологические структуры Мьянмы. Тез. док. XIV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
3. Ярг Л.А., Пхё Ко Ко. 2021. Инженерно-геологические исследования при проектировании сооружений в областях повышенного риска землетрясений (Мьянма). Тез. док. XV Научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле».
4. The seismic zone map of Myanmar (Revised version, 2005), Myanmar Earthquake Committee, Myanmar Engineering Society. Myanmar Earthquake Committee (2003).

## *Структуры, состав и свойства бокситоносной коры выветривания Гвинеи*

*Камара А.С.\* (МГРИ, [aboubacarsidiki.camara@yandex.ru](mailto:aboubacarsidiki.camara@yandex.ru)),  
Ярг Л.А. (МГРИ, [liudmila.yarg@yandex.ru](mailto:liudmila.yarg@yandex.ru))*

### **Аннотация**

Латеритная кора выветривания (КВ) формируется в течение геологических эпох, в пределах тектонических структур с определённым тектоническим режимом. Обсуждается роль тектоники в формировании латеритной КВ Гвинеи. В условиях геохимической и гидрохимической зональности происходит стадийное переформирование субстрата, определяющее инженерно-геологическую зональности и закономерную изменчивость структурных связей, микроструктуры, состава и физико-механических свойств грунтов.

### **Ключевые слова**

Гвинея, латериты, кора выветривания, зональность, микроструктура, физико-механические свойства

### **Теория**

Программа исследований КВ включала изучение характерных разрезов КВ разных регионов Леоно-Либерийского щита (рис.1) в обнажениях, карьерах и шурфах, с поинтервальным отбором проб грунта. Анализ характеристик горных пород проводился с помощью сканирующего электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, прокаливания в вакуумной установке и лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов. Полученные данные полевых и камеральных исследований обобщены и обработаны в стандартных программных пакетах.

Пространственное положение (контакт литосферы с, атмосферой, поверхностной гидросферой и биосферой), унаследованность в строении и составе характерных черт геологических процессов (условий и обстановок литогенеза), а также многоцелевое практическое использование КВ и слагающих их горных пород, обусловило различные аспекты их исследования. Проблема изучения процесса выветривания является одной из важнейших в инженерной геологии.

Среди всех континентов наибольшие площади латеритных КВ расположены в экваториальной Африке, характеризующейся совокупностью благоприятных условий образования КВ: приуроченностью к глобальным эпохам выветривания с тропическим климатом, активной геодинамикой с преобладающими положительными движениями, способствующими пенепленизации рельефа и образованию поверхностей выравнивания; длительностью периода их формирования.

Большая роль в формировании КВ, ранее не замечавшаяся, принадлежит геодинамике: спредингу африканской и южноамериканской плит и развитию Срединно-Атлантический рифта. «С точки зрения «трансформной геодинамики» спрединговая зона и трансформные разломы представляют собой динамопару: - раскалывание литосферы и разнонаправленное дискретное движение литосферных масс». В сложно построенном *Экваториальном* сегменте рифтовой системы выделяются зоны резкого сгущения поперечных разломов, смещающих рифтовую зону на восток.

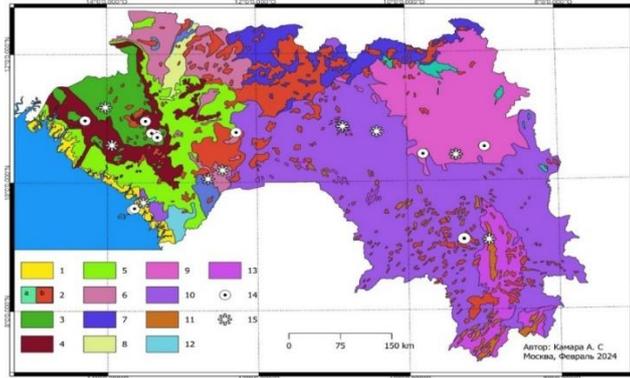


Рисунок 1. Точки опробования коры выветривания на геологической карте Гвинеи

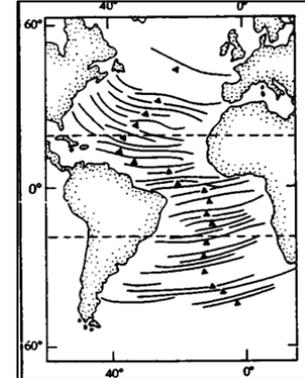


Рисунок 2 Поперечные разломы

В сложно построенном *Экваториальном* сегменте рифтовой системы выделяются зоны резкого сгущения поперечных разломов (рис.2), смещающих рифтовую зону на восток. Глобальные тектонические воздействия обусловили дискретность Леона-Либерийского щита, испещренного крупными разломами, создавшими блоковое строение массива, высокую его проницаемость, огромную поверхность взаимодействия.

Леона-Либерийский щит – самый из них крупный в Африке, является основной тектонической структурой Гвинеи, Сьера Леона, Кот-д'Ивуара, Ганы. КВ, мощностью 100м и более, слагают поверхности выравнивания. В коре выветривания Гвинеи локализуются месторождения бокситов, запасы которых составляют 1/3 мировых.

Кора выветривания (КВ) – структурированный геологический объект. На основе комплекса признаков-параметров: состава (типоморфных минералов), структурных связей минерального уровня и эффективных, структурно-текстурных особенностей, поровой и трещинной пустотности КВ разделяется на пять зон: V - зона, структурных бокситов; IV – латеритная; III - зона литомаржа; II - обломочная ; I - трещинная.

Боксит латеритный, красно-коричневого цвета, брекчиевидного сложения, пористый, неравномерно кавернозный, с реликтовой слоистостью, которая подчеркивается миндалевидными уплощёнными кавернами. Обломки размером до 3-5 см, занимающие до 50 % объема, распределены неравномерно, сцементированы железистым массивным, пористым и кавернозным цементом, светло-коричневого цвета. Грунт ожелезнен по трещинам, с натеками гематит-гётитового материала красновато-бурого цвета, почковидного и зонального строения. Мощность бокситов 7м.

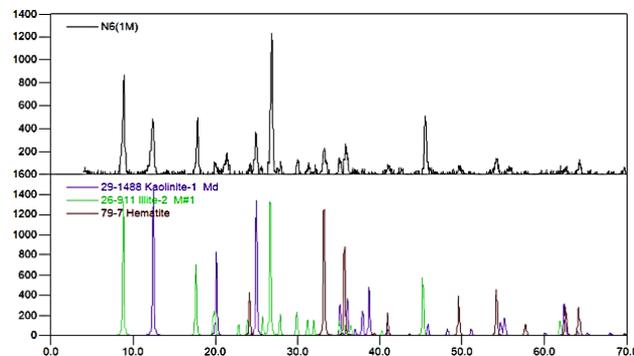


Рисунок 3. Состав порообразующих минералов латеритной КВ, по данным рентгеноструктурного анализа: каолинит, иллит, гетит («лимонит» FeO(OH)), гематит, гиббсит, каолинит, иллит

Переформирование минерального состава субстрата в профиле (в глинистые тонкодисперсные минералы), сопровождающиеся резким увеличением удельной поверхности и качественным изменением ее кристаллохимической структуры.

С точки зрения одного из основоположников отечественной инженерной геологии И.В. Попова, микроструктура отражает влияние различных физико-химических факторов на процесс образования. «В ней за счёт специфического сочетания различных морфологических (размер, форма, характер поверхности структурных элементов, их количественное соотношение), геометрических (пространственное расположение структурных элементов) и энергетических (структурные связи) признаков как бы заложена информация о прочности и деформационном поведении пород».

Исследование микроструктуры латеритов (бокситоносная зона) проводилось на двух профилях бокситоносной коры выветривания, сформированных: а) на силурийских аргиллитах; б) на нижнепротерозойских гранито-гнейсах. В общей сложности было отобранных с интервалом 1м. Анализы пород выполнены с помощью растрового электронного микроскопа с электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ.

*Результаты исследований.* Динамика структур бокситов под влиянием процессов выветривания проявляется в изменении их организованности (морфометрические и геометрические признаки) и степень агрегированности структурных элементов, их упаковки и пространственной ориентировки, что приводит к смене геометрического облика структур. Структуры пород, образуются твердыми (минеральными) структурными элементами, слагающими структурный скелет и порами, может быть охарактеризована как беспорядочная.

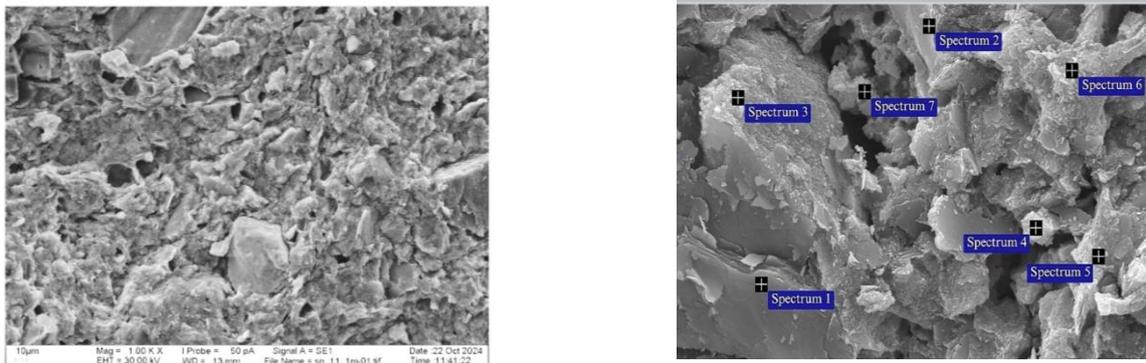


Рисунок 4. Микроструктура бокситов Гвинея, крестики – точки рентгенограмм

Для минеральных частиц, изометрической формы (табличная), размером до 100нм характерны горизонтальная тонкослоистость, с шероховатостью на изломе. Минеральные частицы впаены в микроагрегаты и ультрамикроагрегаты, с неориентированным их расположением.

Наблюдаются взаимопереходы геометрических типов структур: ячеистая – турбулентная.

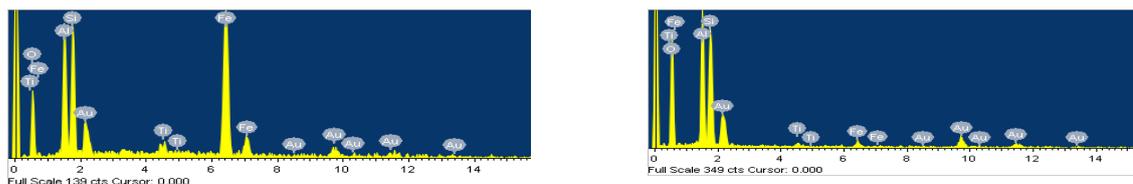


Рисунок 5. Основные компонентного состава зоны вторичной цементации: Al, Si Fe.

По степени кристаллического совершенства каолинита (по показателю рентгеновской упорядоченности каолинита) – высоко дефектный, склонный к набуханию.

Порового пространством представляют микропорами сложной формы двух типов: – между микроагрегатами и ультрамикроагрегатами (рис.4); – каналы со сложной морфологией, протяженностью до 100 микрон и более.

По морфологии можно выделить поры изометричные, щелевидные.

Физико-механические свойства грунтов латеритной КВ обусловлены генетическими характеристиками: латериты имеют различный размер частиц из-за одновременного присутствия глинисто-железистой матрицы и бокситовых конкреций.

Гранулометрический состав включает конкреции диаметром 31-12мм. Содержание пылевой фракции (<0,0008) колеблется от 19,5 до 70%. частиц 2 мм – 23-77%, песчаной всего – 4-7 %. Естественная влажность в вертикальном разрезе возрастает с глубиной с 3,5 до 15,7%. Плотность минеральных частиц составляет 2,3-2,5г/см<sup>3</sup>. Преобладание каолинита и иллита и присутствие в глинистой матрице железа придает им высокую пластичность: верхний предел пластичности - 0,57-65; нижний предел пластичности – 0,27 -0, 31 – число пластичности – 0, 28-0, 35.

### **Выводы**

Кора выветривания, являясь открытой неравновесной системой - вода — порода — газ — органическое вещество. Уникальность этой системы заключается в ее способности к непрерывной геологической эволюции, включающей формирование все новых и новых вторичных минеральных, изменении микро- и макроструктуры, геометрии порового пространства и увеличение дискретности массива пород, с формированием каверн и карста в зоне бокситов. Тем самым происходит непрерывное трансформация коры выветривания – системы, при которой изменяются все её составляющие.

### **Библиография**

1. Буфеев Ю.В., Мамедов В И., Никитин Ю.А. Геология Гвинеической республики. М., Изд-во МГУ. 2011. 341 с.
2. Камара А.С., Невечеря В.В., Ярг Л.А. Специальная инженерно-геологическая карта распространения эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинеической Республики. // Геология и разведка. 6/2023, с. 26—40.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н Н.А. Румянцева. Микроструктура глинистых пород М., "Недра". 1989. 234с.
4. Burton, Glen J.;. (2015). Microstructural changes of an undisturbed, reconstituted and compacted high plasticity clay. Engineering Geology, с.363–373.

**Применение классификации RMR и метода конечных элементов для анализа устойчивости тоннеля Рогунской ГЭС**

**Бахронов А.И. \* (МГРИ, Bahronovazim18@gmail.com),  
Фоменко И.К. (МГРИ, Ifolga@gmail.com)**

**Аннотация**

В статье рассматриваются особенности напряжённо-деформированного состояния транспортного тоннеля Рогунской гидроэлектростанции в Республике Таджикистан. Тоннель расположен в сложных геолого-тектонических условиях, характеризующихся наличием активных разломов и переслаивающихся пород позднеюрского и раннемелового возрастов. Для оценки устойчивости горного массива применена классификация Rock Mass Rating (RMR) и метод конечных элементов в программном комплексе Phase2. Проведён анализ распределения напряжений и коэффициента прочности (SF) вдоль трассы тоннеля. Результаты показали, что в зонах переслаивания пород и высокой трещиноватости значения SF снижаются до 3, что требует дополнительных мер по укреплению. На участках с однородными породами SF достигает 8, что свидетельствует о высокой устойчивости. На основе полученных данных предложены рекомендации по укреплению горного массива, включая установку анкерной крепи и набрызгбетона.

**Ключевые слова**

Тоннель, метод конечных элементов, напряжённое состояние, коэффициент прочности, классификация RMR

**Теория**

Современные подземные сооружения имеют сложную конструкцию, располагаются на больших глубинах и на протяжении долгого времени взаимодействуют с геологической средой, что приводит к возникновению опасных инженерно-геологических процессов. В работе рассматривается туннель строящейся в Республике Таджикистан Рогунской гидроэлектростанции (ГЭС). Гидроузел располагается в сложных геолого-тектонических условиях с наличием активных разломов вблизи и в основании сооружений и возможностью их подвижек при землетрясении. В геологическом строении участка строительства принимают участие породы позднеюрского и в основном ранне мелового возраста. Нижнемеловые отложения представляют собой неравномерно переслаивающуюся толщу песчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов. Туннель транспортный расположен на правом берегу р. Вахш и проходит через чередующиеся в разрезе терригенные породы, причем кровля туннеля располагается в слое нижнемеловых аргиллитов [2].

**Методика расчетов**

Для оценки устойчивости горного массива и прогнозирования его поведения при строительстве и эксплуатации тоннеля была применена классификация Rock Mass Rating (RMR), разработанная Биньявским. Эта система позволяет количественно оценить качество горного массива на основе нескольких параметров. В данной работе RMR использовался для анализа участков тоннеля, где наблюдаются значительные изменения напряжённо-деформированного состояния (рис. 1).

Основные параметры RMR:

1. Прочность породы на одноосное сжатие (UCS) – определяется лабораторными испытаниями образцов породы.
2. Качество породы (RQD) – индекс качества горной породы, рассчитываемый на основе данных бурения.

3. Расстояние между трещинами – характеризует плотность трещин в массиве.
4. Состояние трещин – учитывает шероховатость, заполнение и степень выветривания трещин.
5. Грунтовые воды – оценивается влияние воды на устойчивость массива.
6. Ориентация трещин – учитывается влияние ориентации трещин на устойчивость тоннеля.

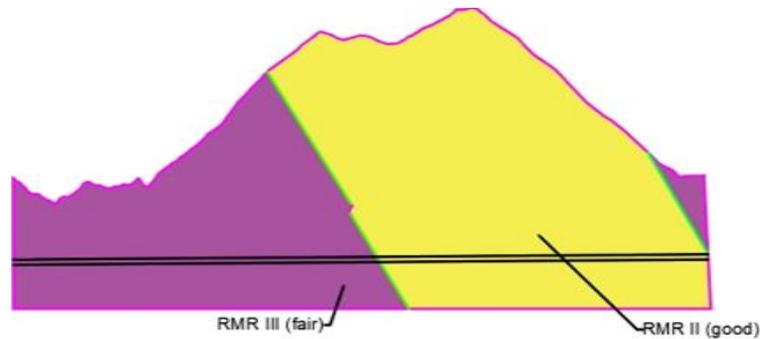


Рисунок 1. Классификация RMR

При моделировании напряжённо-деформированного состояния массива в программе Phase2 (рис. 2) массив был разделен на два участка: с коэффициентом прочности ( $SF \geq 3$  и  $SF \geq 5$ ). Построенный график (рис. 3) показал, что в зонах переслаивания пород и высокой трещиноватости значение  $SF$  снижается до 3, что указывает на необходимость укрепления конструкции. В зонах с однородными породами значение  $SF$  достигает 8, что свидетельствует о высокой устойчивости массива (рис. 4).

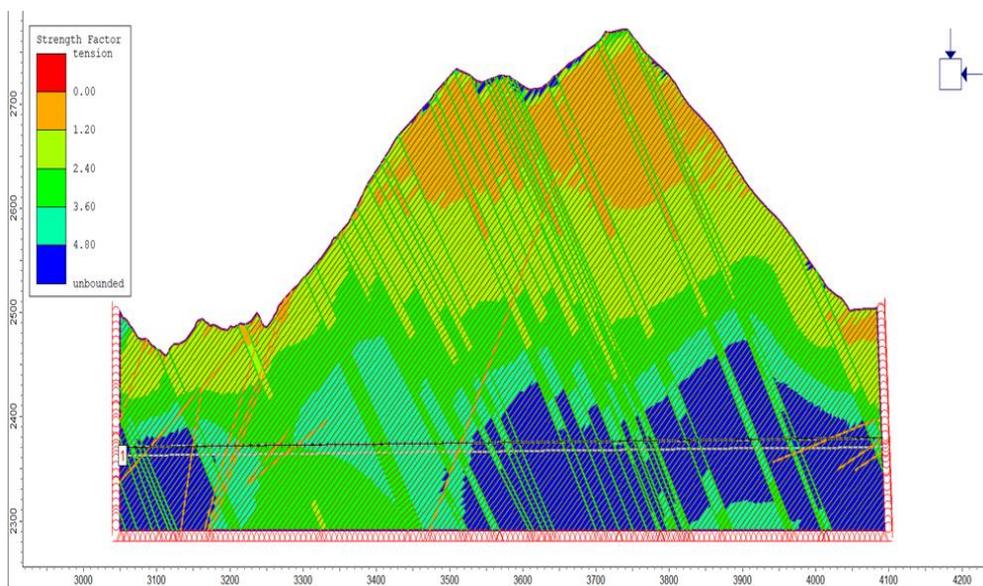


Рисунок 2. Расчетная схема напряженно-деформированного состояния массива

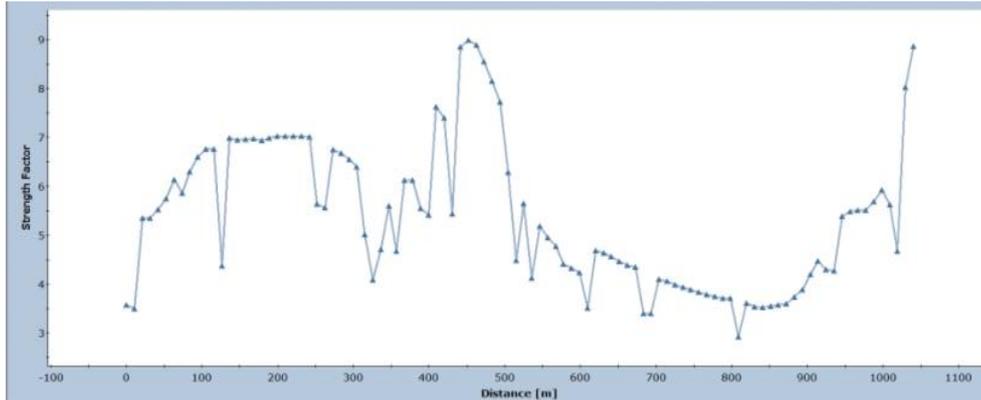


Рисунок 3. График коэффициента прочности (SF) вдоль тоннеля

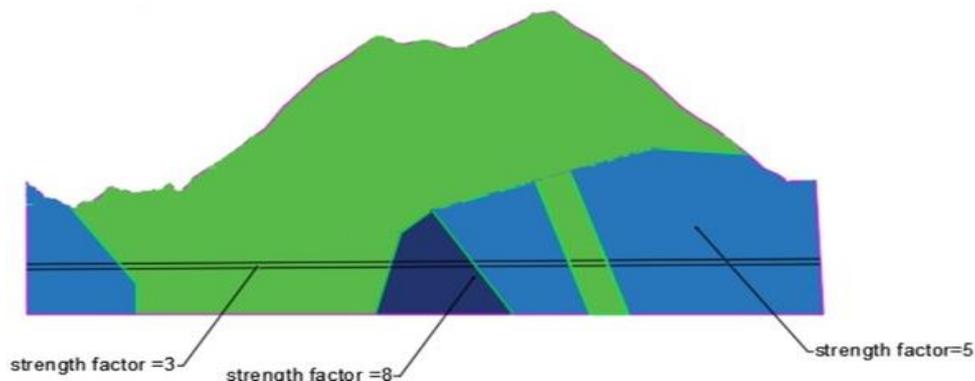


Рисунок 4. Схема массива

### Результаты расчетов

Проведенный анализ показал, что распределение напряжений в горных породах вдоль тоннеля неоднородно. Наибольшее сосредоточение напряжений наблюдается в зонах переслаивания пород и трещиноватых участках. Эти зоны характеризуются значениями коэффициента прочности (SF) менее 3, что указывает на повышенную вероятность возникновения деформационных процессов и необходимости усиления этих участков. Такое разделение позволило более детально проанализировать состояние горного массива и предложить меры по усилению наиболее критических зон. Участки с SF = 3 требуют особого внимания и разработки дополнительных мероприятий по укреплению.

#### Рекомендации по укреплению горных пород:

- 1) Устойчивые породы (Good) II (61-80)

Рекомендуемый метод строительства: Разработка породы на полное сечения тоннеля. Величина заходки 1-1.5 м. Установка постоянного крепление на расстоянии 20 м от забоя тоннеля

Крепления: Анкер - Локальное установка анкерной крепи в кровлю выработки длиной 3 м, с шагом 2.5 м. В отдельных случаях устанавливается металлическая сетка. Набрызгбетон - 50 мм в своде тоннеля в локальных участках

- 2) Породы средней устойчивости (Fair) III (60-41)

Рекомендуемый метод строительства: Разработка породы по двух уступной схеме. Величина заходки 1.5 – 3.0 м. Крепление выполняется после каждой заходки. Установка постоянного крепления на расстоянии 10 м от забоя тоннеля.

Крепления: Анкера - Систематическая установка анкеров длиной 4 м, шагом 1.5 – 2.0 м. в кровле тоннеля и боках тоннеля. Установка металлической сетки в своде тоннеля. Набрызгбетон – 50 – 100 мм в своде тоннеля и 30 мм в боках тоннеля

### **Выводы**

Использование классификации RMR в сочетании с методом конечных элементов позволило получить комплексную оценку устойчивости горного массива вдоль трассы тоннеля. Результаты исследования показали, что наиболее критичные участки связаны с геологическими особенностями, такими как переслаивание пород и высокая трещиноватость. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации проектных решений и повышения безопасности и эксплуатации тоннеля.

### **Библиография**

1. Phase2: 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations. User's Guide. 1998 - 2001. Rocscience Inc.
2. Барыкина О.С., Фоменко И.К., Зеркаль О.В., 2021. Оценка влияния проходки туннеля на напряженно-деформированное состояние неоднородного скального массива в сложных геологических и сейсмоструктурных условиях. Геотехника, Том XIII, № 1, с. 6–18,
3. Барыкина О.С., Фоменко И.К., Зеркаль О.В. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/351870789\\_Cislennoe\\_modelirovanie\\_naprazhenij\\_dla\\_ocenki\\_uslovij\\_stroitelstva\\_podzemnyh\\_sooruzenij](https://www.researchgate.net/publication/351870789_Cislennoe_modelirovanie_naprazhenij_dla_ocenki_uslovij_stroitelstva_podzemnyh_sooruzenij).
4. Hoek E., Brown E.T., 1980. Empirical strength criterion for rock masses. Journal of Geotechnical Engineering Divisions, Vol. 106, No. GT9, pp. 1013–1046.

***Методика проведения расширенного псевдостатического анализа устойчивости склона  
(на примере оползня р. Лазовая, Сахалин)***

***Грязнов Д.С. (МГРИ, danyagr.2001@gmail.com),  
Фоменко И.К. (МГРИ, ifolga@gmail.com)***

**Аннотация**

Для оползневого склона на левом борту правого притока р. Лазовая был апробирован расширенный метод псевдостатического анализа. Для сейсмического коэффициента было рассчитано его изменение по глубине и скорректирован коэффициент устойчивости склона.

**Ключевые слова**

Оползни, склон, коэффициент устойчивости, сейсмический коэффициент, сейсмичность, сейсмическое воздействие, акселерограмма, пиковое ускорение

**Теория**

В настоящее время оценка устойчивости склонов сильно подвержена критике из-за отсутствия какой-либо единой и унифицированной нормативной базы. Существует большое количество различных методов и подходов к оценке и расчета коэффициента устойчивости склона, вследствие чего разные эксперты дают разные значения. На сейсмически активных территориях ситуация усугубляется отсутствием конкретного критерия учета землетрясений, непосредственно влияющих на устойчивость склона.

На данный момент при оценке устойчивости склонов в сейсмически активных регионах используется нормированная сейсмичность, параметром которой в свою очередь является макросейсмический балл. Данный подход берет свое начало в СССР, когда не применялись вероятностные оценки сейсмической опасности, не было методик и баз данных для оценки сейсмичности в величинах физических характеристик, «...» поэтому компромиссное решение, действовавшее много лет, было вполне оправданным [Перетокин С.А. 2024].

Так же в современной практике не учитывается способность грунтов проводить через себя сейсмические волны, что в свою очередь сильно отражается на точности и достоверности получаемого результата.

Исходя из вышеперечисленных проблем, появляется необходимость разработать метод, который позволит получить коэффициент устойчивости склона, учитывающий в своем расчете как геологическую составляющую, так и сейсмоакустические свойства грунтов.

Целью работы является предложение модификации к псевдостатическому анализу, ее апробация и сравнительный анализ с расчетами, наиболее часто встречающимися в современной практике.

**Характеристика изучаемого объекта**

Оползень на р. Лазовая расположен в районе 384 км трубопроводной системы «Сахалин-2» в Макаровском районе Сахалинской области.

Наибольшая крутизна наблюдается на оползневых уступах склона и достигает 30°. Уступы чередуются с выровненными горизонтальными площадками. Склон сложен элювиально-делювиальными отложениями мощностью от 1,5 до 3 м, которые перекрывают аргиллитоподобные глины быковской свиты (K2bk). В обнажениях и оползневых бровках срыва аргиллитоподобные глины выветрены до дресвяно-щебенистого материала в глинистом заполнителе. В зоне взаимодействия с пластово-поровыми водами мезозойских пород, приуроченных к зонам ослабления, они преобразуются в голубовато-серые глины мягкопластичной консистенции, которые слагают основной деформируемый горизонт оползневых тел, развитых на участке.

Основными причинами развития природных оползней на участке исследований являются: наличие в строении склона глинистых пород, которые при воздействии подземных вод могут переходить в мягкопластичную консистенцию, большая крутизна склонов, эрозионная деятельность водотоков, высокая сейсмичность.

#### Описание методики

Расширенный метод псевдостатического анализа устойчивости склона заключается в послойном изучении разреза исследуемого объекта с учетом сейсмоакустических свойств каждого геологического элемента, слагающих этот разрез.

Исходными данными для расчета являются: инженерно-геологические элементы, слагающие разрез исследуемого склона, с изученными параметрами такими как мощность, удельный вес, сцепление, угол внутреннего трения, модуль деформации, коэффициент Пуассона, скорость s-волн, сейсмическая акселерограмма.

В первую очередь необходимо привязать акселерограмму к рассматриваемым грунтовым условиям. Для этого в программе DEEPSOIL строится геологический профиль. В данном профиле для каждого слоя задаются его физико-механические и скоростные свойства. Вследствие этого удастся получить послойное распределение сейсмоакустических эффектов (рис.1).

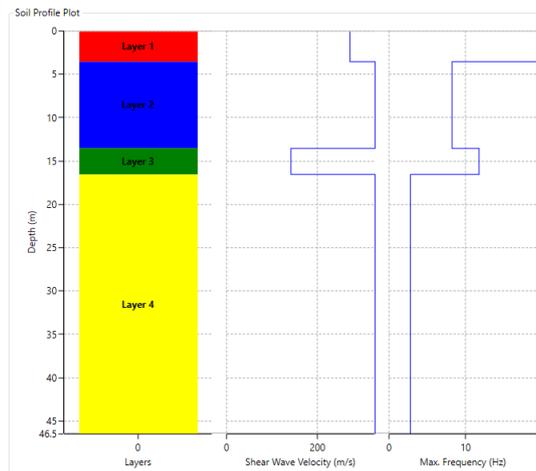


Рисунок 1. Распределение сейсмоакустических эффектов

Вторым этапом идет привязка акселерограммы к заданному ранее профилю. Данные о зависимости ускорения колебаний от времени необходимы для оценки послойного распределения сейсмической нагрузки, которую получают геологические слои в момент сейсмической активности. Промежуточным итогом данных расчетов стала возможность получить график зависимости изменения коэффициента сейсмичности от глубины с учетом свойств грунтов (рис.2).

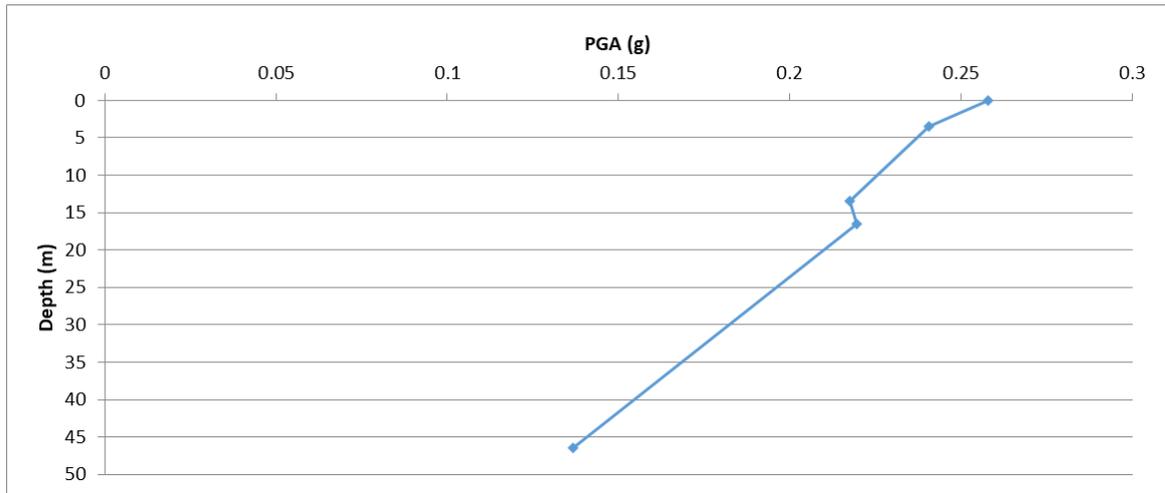


Рисунок 2. График изменения сейсмического коэффициента

Следующие расчеты будут проводиться в программе OPTUM G2.

В данной программе строится модель изучаемого склона. На модели задаются жесткостные и прочностные параметры слоев, слагающих разрез и полученный ранее сейсмический коэффициент, изменяющийся по глубине.

Итогом всех проделанных расчетов становится получение коэффициента устойчивости склона, поверхности скольжения оползня и распределение испытываемых нагрузок с учетом сейсмоакустических свойств грунтов (рис.3).

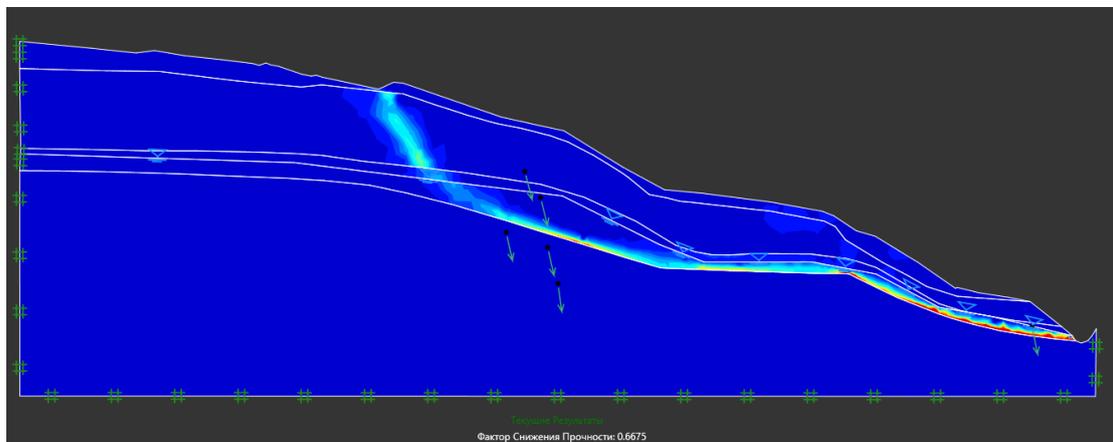


Рисунок 3. Результат расчета

Для сравнения результата были дополнительно проведены расчеты без учета сейсмического воздействия и с коэффициентом, подобранным по общему сейсмическому районированию (PGA). В таблице 1 приведены полученные значения.

Таблица 1. Результаты расчетов

Вид расчета	R	Тип оценки	Результат	Среднее (истинное значение)
Без учета воздействия	-	Снизу	1.0	1.015

		Сверху	1.03	
С сейсмическим коэффициентом PGA	10	Снизу	0.702	0.717
		Сверху	0.732	
	20	Снизу	0.69	0.705
		Сверху	0.72	
С послойно изменяющимся сейсмическим воздействием	10	Снизу	0.66	0.675
		Сверху	0.69	
	20	Снизу	0.69	0.700
		Сверху	0.71	

### **Выводы**

Итогом проделанной работы стала возможность получения наиболее достоверного результата расчета, учитывающий в себе не только общую сейсмическую активность территории, но и сейсмоакустические свойства грунтов, слагающих рассматриваемый склон. Данные значения будут непосредственно влиять как на проектировочные решения, так и на составление финансово-экономической модели проектируемых объектов.

### **Библиография**

1. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012. 176 с.
2. Перетокин С.А. Некоторые аспекты вероятностной оценки сейсмической опасности с использованием эмпирических зависимостей. Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 39-48.
3. СП 283.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования»]
4. Фоменко И. К. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ // Инженерная геология. — 2012. — № 6. — С. 44–53.
5. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации -- ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000: объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ. 1999. 57 с.

*Котлован: от модели к мониторингу*

*Гусев Д.Н.\* (МГРИ, Danila.Gusev1@yandex.ru),  
Горобцов Д.Н. (МГРИ, gorobtsovdn@mgri.ru)*

**Аннотация**

В статье представлено сравнение результатов математического моделирования процесса поэтапной разработки котлована с устройством ограждающих конструкций и данных геотехнического мониторинга, полученных на реальном объекте. Сравнение результатов моделирования с данными мониторинга позволяет оценить влияние различных факторов (геологического строения, свойств грунтов, методов крепления котлована) на точность прогноза. На основе проведенного анализа сформулированы выводы о безопасном и устойчивом функционировании литотехнической системы «Ограждающая конструкция-грунт» [2], которое имеет первостепенное значение для успешной реализации строительных проектов, особенно в сложных инженерно-геологических условиях. Нарушение равновесия в этой системе может привести к необратимым последствиям, таким как обрушение котлована, а также к угрозе жизни и здоровью людей. Грамотное управление рисками, связанными с функционированием системы ОКГ, позволяет избежать финансовых потерь, вызванных аварийными ситуациями и простоями в строительстве.

**Ключевые слова**

Котлован, литотехническая система «Ограждающая конструкция-грунт», устойчивость, прогноз

**Введение**

Разработка котлованов для строительства сооружений с глубокой подземной частью в сложных инженерно-геологических условиях – сложная геотехническая задача, требующая обеспечения устойчивости ограждающих конструкций и минимизации влияния на окружающую застройку. Эффективное проектирование и строительство таких котлованов невозможно без точного прогнозирования поведения грунтового массива и ограждающих конструкций на различных этапах строительства. В связи с этим, важным этапом верификации численных моделей является их сопоставление с данными, полученными в результате геотехнического мониторинга, проводимого непосредственно на строительной площадке.

Далее на примере объекта рассматриваются результаты математического моделирования и мониторинга за ограждающими конструкциями котлована здания ГАЭС нового и окружающего их грунтового массива.

**Краткое описание инженерно-геологических условий исследуемого объекта**

Исследуемая территория расположена в Карачаево-Черкесской Республике, Прикубанском районе, около Кубанского водохранилища (Рисунок 1). В геоморфологическом отношении рассматриваемая территория приурочена к провинции Большого Кавказа (морфоструктура I порядка), области предгорных равнин (морфоструктура II порядка), району Кубанской наклонной аллювиальной террасированной равнине. Геологическое строение данной территории характеризуется развитием мощного чехла глинистых отложений.

Район расположения ГАЭС Каскада Кубанских ГЭС относится к центральной части Предкавказской климатической области.

Общие черты геологического строения участка характеризуются наличием четвертичных отложений и нерасчлененных отложений верхнего палеогена (олигоцена) – нижнего неогена (миоцена) майкопской серии. Породы четвертичной системы

распространены по всей изучаемой территории, они перекрывают выветрелые осадки майкопской серии чехлом мощностью от 1,4 до 16,6 м.

В качестве основных стратиграфо-генетических комплексов исследуемого массива (сверху-вниз) были выделены: современные техногенные отложения (tQIV), современные озерные отложения (IQIV), современные и верхнечетвертичные элювиально-делювиальные отложения (edQIII-IV), средне-верхнечетвертичные озёрные отложения (1QII-III), верхняя и нижняя зона элювиальных отложений верхнего палеогена – нижнего неогена майкопской серии ( $e_2(P_3-N_1)mk$  и ( $e_1(P_3-N_1)mk$ )), верхний палеоген – нижний неоген майкопской серии ( $(P_3-N_1)mk$ ).

Гидрогеологические условия рассматриваемого участка характеризуются наличием подземных вод спорадического распространения в современных техногенных отложениях (tQIV), верхнечетвертичных-современных элювиально-делювиальных (edQIII-IV), а также в элювиальных палеоген-неогеновых отложениях майкопской серии верхней и нижней генераций  $e_2(P_3-N_1)mk$  и  $e_1(P_3-N_1)mk$ . Водовмещающими являются глины с трещиноватостью разного генезиса.

#### Конструктивные особенности объекта исследования

Конструкция ограждения котлована состоит из типа «стена в грунте» и типа «трубошпунт». «Стена в грунте» применяется для ограждения котлована непосредственно самого здания ГАЭС глубиной до 20,0 м, а «трубошпунт» применяется для ограждения котлована, подводящего и отводящего канала глубиной до 13,0 м. В рамках данной работы основное внимание будет уделено анализу поведения ограждающей конструкции типа «трубошпунт».

Ограждение подводящего и отводящего канала выполняется из стальных труб 426x10 мм (трубошпунт) с шагом 0,5 м, распределительного пояса из двух двутавров и имеет один ярус распорных систем из труб 426x10 мм. По материалам труб и распорной системы для стальных труб в расчетах используется сталь СтЗсп.

#### Постановка задачи. Результаты расчетов и мониторинга

Для создания конечно-элементной модели (КЭ) использовался программный комплекс Malinin Software – Alterra [3].

Расчеты напряженно-деформированного состояния производились по схеме плоской деформации. На нижней границе принимались условия жесткой заделки. На боковых границах – условия отсутствия горизонтальных перемещений.

Разработка котлована выполнялась в 2 этапа: разработка грунта котлована до 617,00 м и разработка грунта котлована до 610,50 м с устройством распределительного пояса и распорной системы.

Согласно п.5.17 СП 14.13330.2018 [1], при расчете подпорных стен необходимо учитывать сейсмическое давление грунта, значение которого допускается определять с



Рисунок 1. Фрагмент космоснимка исследуемой территории на основе «Google Earth Pro»

применением квазистатических расчетных схем, принимая ускорение грунта равным произведению  $K_0K_1A$ .

При этом  $K_0$  – коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность, равный  $K_0=1,0$ ;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, равный  $K_1=0,3$ ;  $A$  – значение ускорения в уровне основания, принимаемое равным  $2,0 \text{ м/с}^2$  для расчетной сейсмичности 8 баллов.

Фрагмент разработанной конечно-элементной модели ограждающей конструкции типа «трубошпунт» показан на рисунке 2.

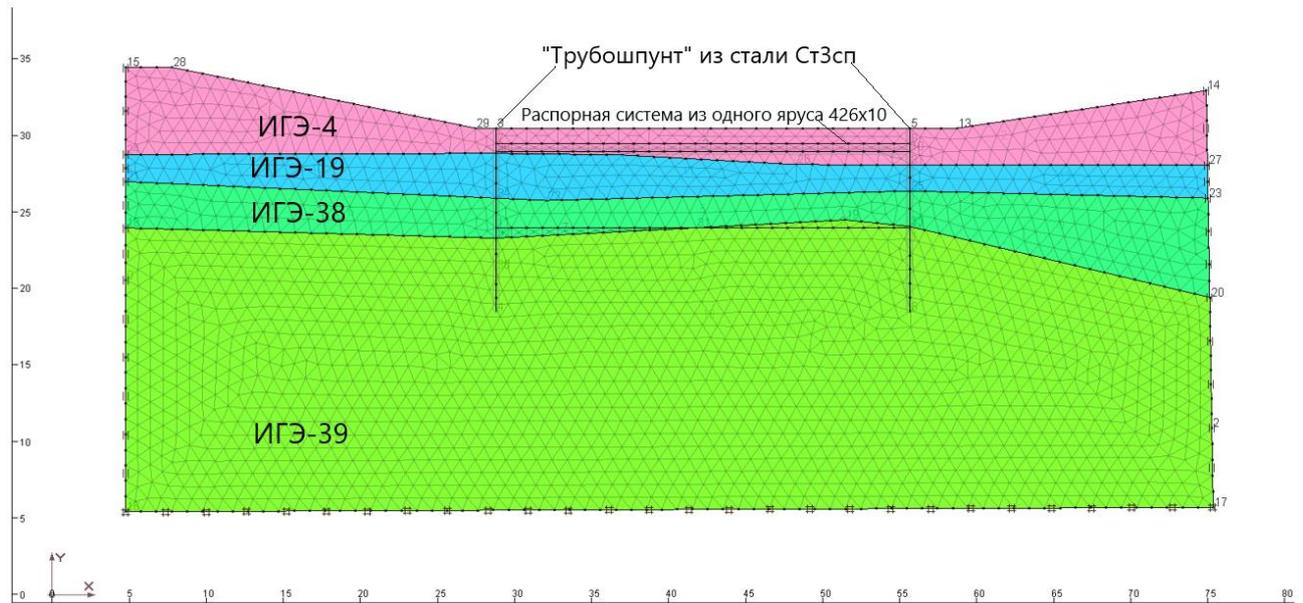


Рисунок 2. Фрагмент конечно-элементной модели ограждающей конструкции типа «трубошпунт», разработанной в ПК Alterra

Результаты расчетов для отметки дна котлована 610,50 м приведен на рисунке 3 и в таблице 1. На рисунке 4 показан сценарий при исключении из работы распорки в котловане. На рисунках 3 и 4 показано максимальное горизонтальное перемещение при разработке котлована с ограждающими конструкциями типа «трубошпунт» на последнем этапе при основном сочетании нагрузок. Анализ моделирования показал, что вывод из строя распорного элемента из системы ЛТС «Ограждающая конструкция-грунт» приводит к прогрессирующему разрушению [4]. Данный процесс был предотвращен на начальной стадии развития благодаря регулярным инклинометрическим и визуальным наблюдениям. Натурные наблюдения показали увеличение горизонтальных перемещений в 5 раз, что потребовало проведения мероприятий по ликвидации возникших отклонений от проектных значений.

Таблица 1

Перемещение по оси X, мм		Перемещение по оси X, мм	
Основное сочетание		Особое сочетание	
Шпунт слева	35,10	Шпунт слева	41,20
Шпунт справа	31,69	Шпунт справа	37,47

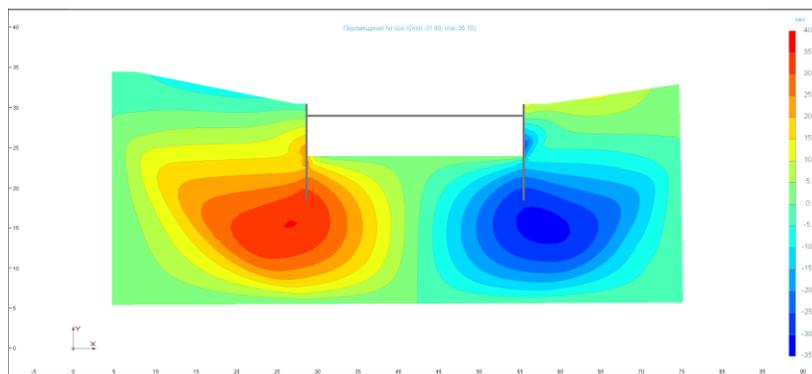


Рисунок 3. Горизонтальные перемещения «трубошпунта» при разработке котлована до отметки 610,50 м

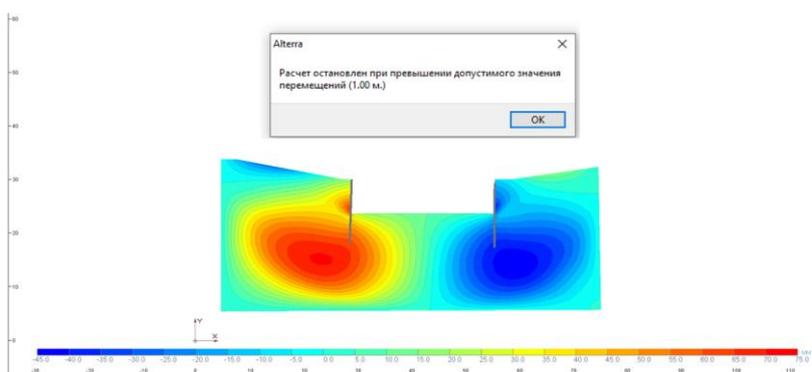


Рисунок 4. Сценарий разработки котлована без распорной системы

## Выводы

Сопоставление численного моделирования и геотехнического мониторинга показало важность их совместного применения при разработке котлованов с ограждениями. Моделирование даёт прогнозы, а мониторинг – реальные данные для проверки и корректировки. Недооценка этого взаимодействия может привести к аварийным ситуациям, как продемонстрировано на примере с увеличением перемещений, что подчеркивает необходимость учета всех факторов в литотехнической системе «Ограждающая конструкция-грунт».

## Библиография

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах.
2. Гусев Д.Н., Горобцов Д.Н. Первые шаги по введению в терминологию понятия природно-техническая система «Ограждающая конструкция-грунт» // Молодые – Научкам о Земле: в 5 т., т.4 Материалы XI Международной научной конференции «Молодые – Научкам о Земле» - М.: Издательство Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2024 – 126-129 с.
3. Руководство пользователя Alterra 2D 3.4.5 2022: ООО ИнжПроектСтрой» 2022. – 69 с.
4. Грачев В.Ю., Вершинина Т.А., Пузаткин А.А. Непропорциональное разрушение. Сравнение методов расчета. Екатеринбург: Ажур, 2010. – 81 с.

***Влияние шероховатости поверхности сваи на сопротивление грунта срезу по поверхности смерзания***

***Володин А.В. \* (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»,  
andreymnenravitsa@gmail.com),***

***Алексеев А.Г. (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»,  
adralexseev@yandex.ru),***

***Гречищева Э.С. (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»,  
cryoerika@mail.ru),***

***Ионова О.В. (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»,  
olya.096@mail.ru)***

**Аннотация**

Самым распространенным и наиболее экономичным видом фундаментов при строительстве на многолетнемерзлых грунтах по принципу I является свайный. Несмотря на то, что проведено немало исследований взаимодействия боковой поверхности сваи с окружающим грунтом [1], [2], [3], [4], [5], при оценке несущей способности недостаточно уделено внимания параметрам, описывающим контактную поверхность материала фундамента [11]. В ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» указаны параметры, характеризующие шероховатость различных материалов. Одним из основных является – среднеарифметическое отклонение профиля (Ra). В работах прошлых лет, описывающих влияние шероховатости на прочность смерзания, шероховатость часто оценивается субъективно, а числовые характеристики шероховатости не определяются. Появляются новые технологии и новые материалы (например, композитные сваи) [4], коэффициент перехода для которых не определен и соответственно отсутствует. Существующий подход не дает в полной мере оценить влияние шероховатости на прочность смерзания, поэтому следует пересмотреть подход и конкретизировать количественным методом определения прочности смерзания в зависимости от шероховатости. С этой целью были проведены исследования, в том числе с использованием новых материалов (композит, антикоррозионные покрытия). Представлены результаты испытаний методом среза по поверхности смерзания с материалами, обладающими различной шероховатостью поверхности. Выявлены закономерности изменения указанных величин. Разработана таблица расчетных значений сопротивления срезу по поверхности смерзания в зависимости от параметра шероховатости.

**Ключевые слова**

Многолетнемерзлый грунт; свая; сопротивление срезу по поверхности смерзания; шероховатость поверхности; смерзание сваи с грунтом

**Теория**

Чаще всего свайные фундаменты изготавливают из бетона, металла и дерева, встречаются композитные сваи [4]. Целью исследований является определение зависимости сопротивления срезу по поверхности смерзания грунта и сваи от шероховатости поверхности свай, изготовленных из разных современных материалов (металл, бетон, стеклопластик, антикоррозионное покрытие на металлической свае) в температурном диапазоне. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: подобраны представительные типы грунтов; определены их физические характеристики; выбраны материалы фундамента и замерены параметры шероховатости для каждого из них, подобран спектр отрицательных температур.

Объектом исследования являлись модели фундамента (рис. 1) из разных материалов с различными значениями параметров шероховатости в разнообразных грунтовых условиях.



Рисунок 1. Общий вид плашек (а – металлические; b – бетонные; с – стеклопластик)

Для каждой плашки измерялась шероховатость поверхности с помощью портативного измерителя шероховатости TIME TR 200. Шероховатость материалов фундамента измерялась на рабочих поверхностях плашек по 5 точек на каждой поверхности.

Подбор грунтов осуществлялся на основе классификаций ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация». Основными разновидностями мерзлых грунтов являются глинистые и песчаные грунты, в связи с этим подобраны грунты, обеспечивающие получение однозначно интерпретируемых результатов испытаний на определение среза по поверхности смерзания и позволяющие получить изменение искомой величины в зависимости от параметров шероховатости материалов свай – песок пылеватый и суглинок легкий. Гранулометрический состав и физические свойства грунтов представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Гранулометрический состав грунтов

№ №	Наименование грунта	Содержание частиц, %											Степень неоднородности
		свыше 10 мм	10 - 5 мм	5 - 2 мм	2 - 1 мм	1 - 0,5 мм	0,5 - 0,25 мм	0,25 - 0,10 мм	0,10 - 0,05 мм	0,05 - 0,01 мм	0,01 - 0,002 мм	меньше 0,002 мм	
1	Суглинок лёгкий	-	-	-	-	0,4	0,5	4,7	23,9	40,3	15,9	14,3	-
2	Песок пылеватый	-	-	-	-	0,7	4,7	62,8	25,2	4,7	1,9	-	10,87

Таблица 2. Физические свойства грунтов

№ №	Наименование грунта	Влажность суммарная, (%)	Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Коэффициент водонасыщения, д.е.	Пределы пластичн. (%)		Число пластичности	Показатель текучести	Степень засолености, %	Относительное содержание
								граница текучести	граница раскатывания				
1	Суглинок лёгкий	27,5	2,65	1,86	1,47	0,45	0,90	28,2	20,5	7,7	0,0 1	0,0 7	3,0
2	Песок пылеватый	20,1	2,65	1,92	1,60	0,40	0,81	-	-	-	-	0,0 3	0,7

Испытания по определению сопротивления срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента проводились в соответствии с ГОСТ 12248.8-2020 «Грунты. Определение характеристик прочности мерзлых грунтов методом среза по поверхности смерзания». Всего в рамках исследования проведено 94 испытания.

В результате проведенных испытаний получены значения сопротивления срезу по поверхности смерзания. Статистическая обработка проведена по ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки» для пылеватого песка и легкого суглинка по графикам зависимости  $R_{af}$  от параметра шероховатости  $R_a$ . Ввиду того, что параметр  $R_a$  определяется по большему количеству точек профиля, и является более информативным, чем  $R_z$ , для получения дальнейших зависимостей использовали параметр  $R_a$ . Расчетные значения сопротивления срезу по поверхности смерзания грунта с материалами фундамента даны в таблице 3.

Таблица 3. Расчетные значения сопротивления грунтов срезу по поверхности смерзания с моделями фундамента при различных параметрах шероховатости и температуры

Грунт	Материал фундамента	Класс шероховатости (КШ)	Параметры шероховатости		Расчетное значение $R_{af}$ , МПа		
			$R_a$	$R_z$	Температура		
					-1 °C	-2 °C	-6 °C
Песок	Сталь	5	4,3	15,7	0,094	0,162	0,386
		3	12,5	54,2	0,223	0,304	0,597
	Бетон	5	5,3	20,9	0,110	0,179	0,412
		4	3,6	30,0	0,083	0,150	0,368
	Стеклопластик	6	2,3	15,4	0,063	0,127	0,335
		6	2,2	2,2	0,061	0,126	0,332
	Сталь, покрытая эпоксидным покрытием, отверждаемым полиамидным аддуктором	7	1,2	5,9	0,037	0,083	0,266
	Сталь, покрытая эпоксидным покрытием порошковым термоотверждаемым	8	0,4	1,7	0,033	0,094	0,286

Суглинок	Сталь	5	4,3	15,7	0,075	0,164	0,324
		3	12,5	54,2	0,166	0,294	0,517
	Бетон	5	5,3	20,9	0,086	0,180	0,347
		4	3,6	30,0	0,068	0,153	0,307
	Стеклопластик	6	2,3	15,4	0,053	0,132	0,276
		6	2,2	2,2	0,052	0,130	0,274
	Сталь, покрытая эпоксидным покрытием, отверждаемым полиамидным аддуктором	7	1,2	5,9	0,041	0,114	0,250
	Сталь, покрытая эпоксидным покрытием порошковым термоотверждаемым	8	0,4	1,7	0,032	0,102	0,231

### Выводы

Для песчаного и глинистого грунта наблюдается возрастание прочности смерзания с увеличением шероховатости поверхности материалов.

Увеличение шероховатости происходит в ряду «антикоррозионные покрытия-стеклопластик-бетон/сталь». Анализ результатов показал, что наименьшей шероховатостью обладают покрытия, затем стеклопластиковые модели свай, затем бетонные и стальные образцы. Следует отметить, что бетонные образцы в диапазоне  $R_a$  3,6÷4,3 мкм обладают меньшей шероховатостью по сравнению со стальными. Однако, в диапазоне  $R_a$  5,3÷12,5 мкм ситуация обратная, поверхность бетонных образцов более грубая, чем у стальных. Из результатов испытаний видно, что чем выше шероховатость (в рамках исследуемого диапазона), тем больше сопротивление срезу, не зависимо от материала, что хорошо прослеживается на примере бетона и стали.

### Библиография

1. Аксенов В. И., 2008. Засоленные мерзлые грунты Арктического побережья как основание сооружений. Все о мире строительства.
2. Алексеев А.Г., Гречищева Э.С., Иоспа А.В., 2020. Влияние антикоррозионного покрытия на величину касательных сил морозного пучения грунтов, Вестник НИЦ «Строительство», 3(26)2020.
3. Бондаренко Г. И., Садовский А. В., 1975. Прочность и деформируемость мерзлого грунта на контакте со скалой. Основания, фундаменты и механика грунтов, №. 3, с. 22-25.
4. Бояринцев А.В., 2022. Учёт влияния материала конструкции свайного фундамента на совместную работу с грунтовым основанием при его промерзании: дис. на соиск. учен. степ. к.т.н. СПб.
5. Велли Ю.Я., Карпов В.М., Иванов В.Н., 1966. Результаты полевых и лабораторных исследований сил смерзания мерзлых грунтов. Тр.совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Воркута. Изд-во Красноярск. НИИ, с.1-23.

**Составление схематической крупномасштабной геологической карты дочетвертичных отложений г. Костромы**

**Голубкова Я.А.\* (МГРИ, [yana.golubkova.00@inbox.ru](mailto:yana.golubkova.00@inbox.ru))**

**Аннотация**

В тезисах рассматривается сравнительный анализ данных бурения инженерно-геологических и гидрогеологических скважин на воду и государственных геологических карт дочетвертичных отложений с целью определения более точных геологических границ меловых, юрских и триасовых отложений на территории г. Костромы. При анализе выявлено несоответствие геологических карт с данными бурения ввиду масштаба съемки карт, отредактированы границы карты по данным бурения, а также сделано предположение о существовании на территории города древних погребенных рек.

**Ключевые слова**

Кострома, дочетвертичные отложения, геологические карты, отложения юры, отложения триаса

**Теория**

Основным масштабным уровнем систематического геологического изучения страны является геологическое картографирование масштаба 1:1 000 000 с созданием комплектов государственных геологических карт.

Первое поколение таких карт было создано в 40-60-е годы прошлого века на всю территорию СССР. В 80-90-е годы была подготовлена новая серия карт второго поколения. Это были привычные всем бумажные геологические карты, сопровождавшиеся объяснительными записками с геологической характеристикой территории. В конце 90-х годов была определена новая концепция геологического картографирования, а уже с 2002 года стартовала Программа по созданию Госгеолкарты-1000 третьего поколения, которая будет полностью завершена в 2025 году. [2].

Несмотря на активную работу в создании большой интернет-базы среднемасштабных, мелкомасштабных и обзорных карт, на сегодняшний день в открытом цифровом доступе не имеется соответствующих крупномасштабных карт на территории таких небольших городов как Кострома. Имеющиеся карты не передают точную геологическую ситуацию города и не могут использоваться как прямой источник информации при составлении карт районирования.

На данный момент в открытых источниках информации имеются две геологические карты на территорию Костромской области, а также комплект государственных карт третьего поколения Центрально-Европейской серии, в который входит геологическая карта дочетвертичных образований листа О-37 (Ярославль), масштаба 1: 1 000 000, изданная в 2016 году (рис.1):

1. Геологическая карта масштаба 1:2 000 000 (рис.1), взятая из Атласа Костромской области 1975 г. [1].
2. Геологическая карта дочетвертичных отложений Костромской области масштаба 1:500 000 1998 года (рис. 2).

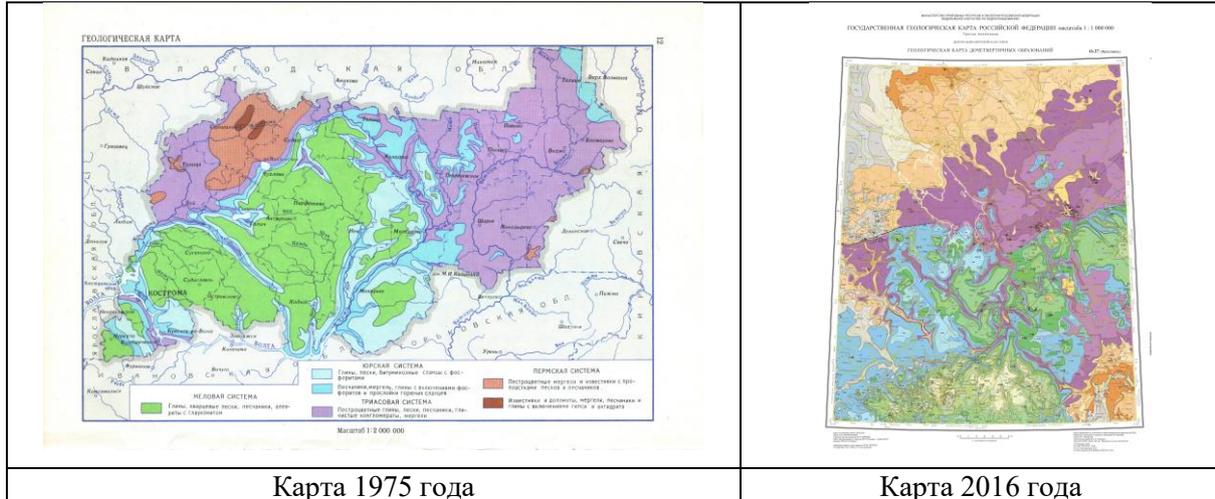


Рисунок 1. Геологическая карта Костромской области 1975 года и геологическая карта дочетвертичных образований 2016 года

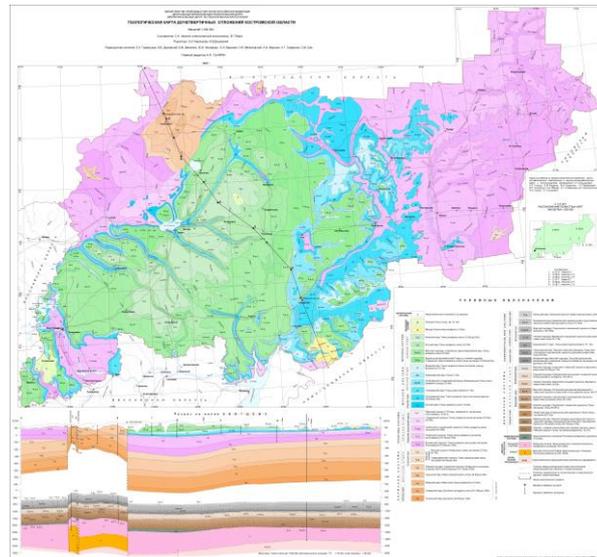


Рисунок 2. Геологическая карта Костромской области 1998 года

Впервые по городу Костроме проведен анализ данных по буровым скважинам и геологическим картам дочетвертичных отложений разных масштабов и разного года выпуска и откорректированы границы возрастов пород территории.

В данной работе за исходные данные брались геологические колонки 184 инженерно-геологических скважин, глубиной до 15 метров, взятых из архивов г. Костромы [3] и 21 скважина на воду с 2005 по 2020 год, а также архивные материалы в виде 11 скважин на воду 1966-1976 гг. [4]. Всего на территории Костромы обработано 216 скважин.

Анализ неглубоких инженерно-геологических скважин показал, что наиболее значимыми из них для настоящей работы являются скважины №182 и №184, которые вскрыли переотложенные юрские глины и скважины №17-24, №120-125, №179-184, вскрывшие юрские глины под слоем четвертичных отложений. Гидрогеологические скважины, пробуренные в районе ТЦ «Коллаж», микрорайона Давыдовский, поселка Фанерник и других северо-восточных окраин Костромы, вскрыли меловые отложения, что подтверждает границы ранее

изданных более мелкомасштабных геологических карт. Некоторыми гидрогеологическими скважинами до глубины 121 метр вскрыты залегающие под подошвой четвертичных пород триасовые отложения. Большинство скважин, вскрывших триасовые отложения, располагаются вдоль берега Волги, но имеются точки и на исторической территории города. Большинство скважин, вскрывших триасовые отложения, имеют в разрезе пески плейстоценового возраста, залегающие на кровле триасовых отложений, что может служить предположением о том, что данные скважины вскрывают русловые отложения притоков Волги, в историческом прошлом протекавших по территории г. Костромы.

В результате выполненной работы была создана схематическая крупномасштабная геологическая карта дочетвертичных отложений на территорию г. Костромы (рис. 3).

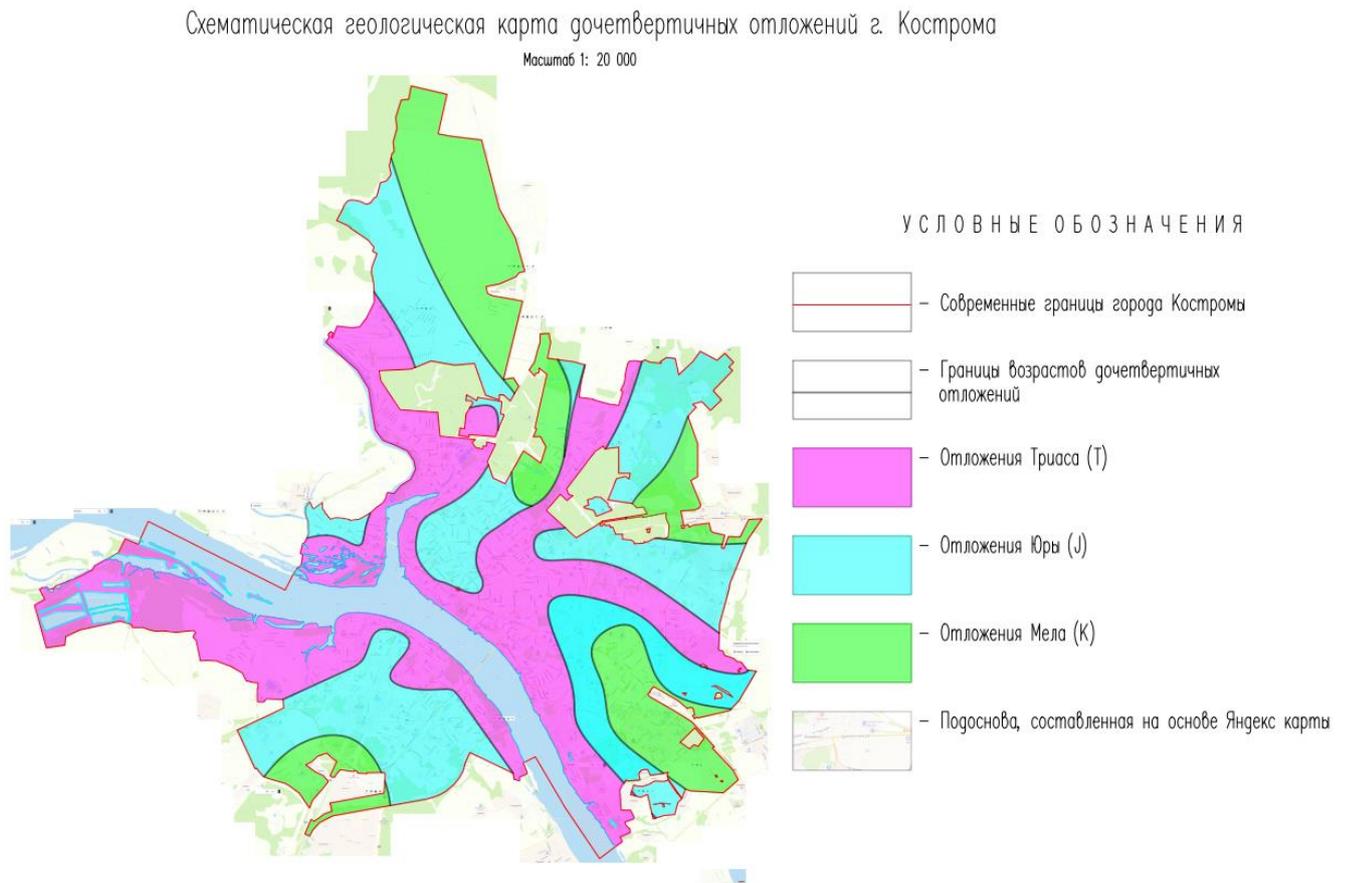


Рисунок 3. Схематическая геологическая карта дочетвертичных отложений города Костромы масштаба 1: 20 000

Данная карта может применяться для инженерно-геологического районирования, так как более полно отражает геологическое строение территории. Но требуется большее количество глубоких скважин для того, чтобы провести более четкие геологические границы и проследить переход дочетвертичных отложений под слоем кайнозойских.

Во время анализа данных было сделано наблюдение о том, что точки с наличием юрских отложений попадают на участки рядом с городищем раннего железного века на правом берегу Волги нынешней Костромы и первого костромского кремля первой половины 13 века между рекой Кострома и рекой Сула (которая на данный момент скрыта) левого берега Волги [5]. Область вокруг данных археологических мест в большей части имеет наличие триасовых отложений, что характерно для размыва данной территории в историческое время. Меловых

отложений на местах поселений не зафиксировано. Это позволяет сделать предположение о том, что территория, на которой располагались поселения была невысоким холмом, когда-то размытым и окруженным речными водами.

### **Выводы**

На основе данной работы можно сделать вывод о том, что данные мелкомасштабных и обзорных карт не могут точно охарактеризовать геологическое строение города ввиду масштаба съемки и требуется составление комплекта крупномасштабных карт, которое позволит более точно описать геологическую ситуацию. В процессе анализа архивных данных бурения скважин было выявлено, что центральную историческую часть территории города Костромы и полосу вдоль правого берега Волги слагают юрские отложения. Меловые отложения встречаются на северо-западных окраинах города. Триасовые отложения залегают как в прибрежной части Волги с обоих берегов, так и в центральной части Костромы, где возможно в историческое время протекали реки. Для более точного ответа и глубокого изучения данного вопроса на данный момент требуется большее количество данных по скважинам на исследуемой территории.

Результатом работы является схематическая геологическая карта дочетвертичных отложений масштаба 1:20 000, построенная на основе обработки данных государственных геологических карт Костромской области и паспортов скважин по г. Кострома.

### **Библиография**

1. Атлас Костромской области Карты / ред. коллегия: К.В. Донцов (пред. и отв. ред.) [и др.]; сост. и подгот. к печати ф-кой № 2 ГУГК в 1975 г.; ред. Л.П. Колобова. — Москва : ГУГК, 1975. — 1 атл. (32 с.): : цв.: карты, текст : 27x19 см.
2. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского: официальный сайт. — Санкт-Петербург. - URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/news/102077/> (дата обращения: 18.02.2025).
3. Обобщенный архив трестов инженерно-строительных изысканий: ЦТИСИЗ Ярославского отделения Костромского отдела; ВВТИСИЗ Костромского отдела, МосЦТИСИЗ Ярославского отделения Костромского отдела, КостромаТИСИЗ.
4. Р.Ф. Воронина, Л.С. Шандра, Г.А. Рысина, О.В.Егорова, Т.В. Ямковская. Подземные воды СССР. Обзор подземных вод Костромской области за 1966-1978 гг. Том I Буровые на воду скважины. Книга 2. Кадыйский, Кологривский, Костромской районы. — Москва, 1987, с. 166-249.
5. Схема границ распространения археологического культурного слоя города Костромы. ООО «Перспектива». — Кострома — URL.: <https://gradkostroma.ru/i/u/10.Arheologiya.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).

*Исследование возникновения просадочных свойств грунтов при их засолении*

*Петров Н.А. \* (МГРИ, nikita.petrov.2001@gmail.com)*

**Аннотация**

Исследование посвящено изучению влияния искусственного засоления на просадочные свойства грунтов. В качестве гипотезы предполагается, что кристаллизация солей в порах грунта вызывает разуплотнение, а последующее увлажнение приводит к просадке из-за растворения солей.

В ходе исследования проводились лабораторные испытания глинистых образцов ненарушенного строения в приборах компрессионного сжатия для определения относительной просадочности. Изначально грунты были классифицированы как непросадочные. После искусственного засоления и повторных испытаний относительная просадочность увеличилась на 25,64%, что позволило отнести образцы к слабопросадочным.

Предварительные результаты подтверждают гипотезу о разуплотнении грунта из-за кристаллизации солей и последующей просадки при увлажнении.

**Ключевые слова**

Просадочность грунтов, лабораторные исследования, разуплотнение, искусственное засоление, компрессионные испытания

**Теория**

Принято считать, что просадка грунта может происходить лишь единожды (процесс необратим), а если грунт непросадочный, то он таковым и остается. В большинстве случаев это соответствует действительности, но в этом правиле иногда возникают исключения: изначально непросадочные грунты в условиях засухи могут приобретать просадочные свойства. В совокупности с активным ведением сельского хозяйства, которое подразумевает использование удобрений (растворимых солей), засуха может привести к засолению грунтов и возникновению просадочных свойств.

Актуальность исследования обусловлена малой изученностью вопроса «приобретения» просадочных свойств грунтов в результате их засоления. Целью работы являются лабораторные исследования и последующий поиск закономерностей изменения просадочных свойств грунтов при их искусственном засолении.

В качестве гипотезы выдвигается предположение, согласно которому в результате кристаллизации раствора в порах грунта кристаллы соли будут оказывать достаточное внутрепоровое давление, чтобы способствовать разуплотнению грунта. При последующем увлажнении засоленного грунта соли будут растворяться, что приведет к уменьшению объема грунта и его просадке [4].

В ходе работы производились лабораторные испытания грунтов в приборах компрессионного сжатия для определения просадочных показателей согласно ГОСТ 23161-2012. По результатам испытаний произведен анализ полученных данных.

В рамках исследования были отобраны образцы грунта ненарушенного строения в г. Красногорск и определены их физические показатели. Образцы опробованы с глубины 7 – 9 метров и по результатам физических испытания были классифицированы как легкие моренные суглинки тугопластичной и полутвердой консистенции [1]. Далее образцы были испытаны в приборах компрессионного сжатия для определения степени их просадочности с естественным уровнем засоления (рис.1).



Рисунок 1. Испытание грунтов в приборах компрессионного сжатия для определения показателей просадочности

Опыты производились по методу «двух кривых», согласно которому проводятся два параллельных испытания – при природной влажности и в водонасыщенном состоянии [2]. По результатам испытаний построены графики компрессионных кривых и определена относительная просадочность, которая для образцов с природным уровнем засоления в среднем составила 0,005 д.е. Согласно ГОСТ 25100 – 2020 грунты были охарактеризованы, как непросадочные.

Далее остатки монолитов грунта были помещены в 3% раствор алебаstra с дистиллированной водой и замачивались в течение 5 суток. Предварительно образцы были перенесены в металлические кольца во избежание разрушения в результате размокания (рис.2).



Рисунок 2. Процесс засоления грунтов

После замачивания производилась сушка образцов при комнатной температуре до влажности максимально близкой к природной. После сушки было отмечено уменьшение природной плотности и увеличение коэффициента пористости грунтов из-за предполагаемой кристаллизации раствора. В усредненных значениях плотность ( $\rho$ ) уменьшилась на 5% с 2,17 до 2,07 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости ( $e$ ) увеличился на 7,5% с 0,416 до 0,450 д.е. (рис.3). Далее были выполнены повторные определения относительной просадочности в приборах компрессионного сжатия [2].

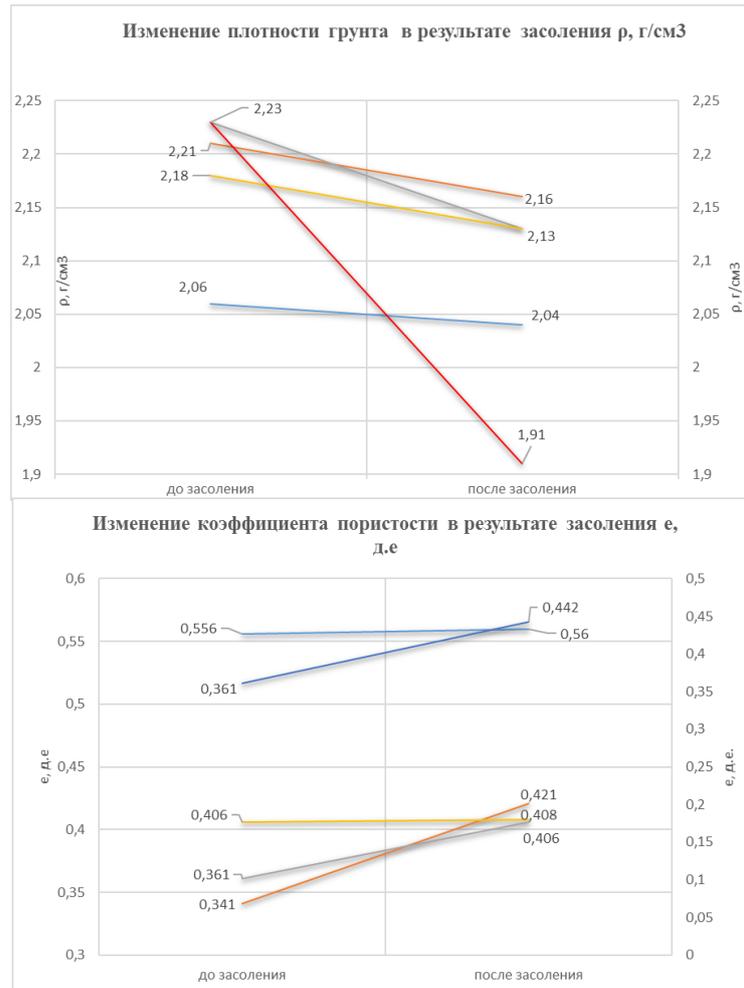


Рисунок 3. Изменение плотности и коэффициента пористости образцов в результате засоления гипсом

По завершению испытаний было проведено сравнение результатов между образцами с природным уровнем засоления и образцами, которые подверглись искусственному засолению гипсом. В результате относительная просадочность для искусственно засоленных грунтов, в среднем составила 0,02 д.е., что позволяет отнести испытанные образцы к слабопросадочным [1]. Также можно утверждать, что относительная просадочность грунта увеличилась на 25,64% в результате их засоления (рис. 4). Просадка относительно водонасыщенного засоленного образца и образца с природным уровнем засоления и природным уровнем влажности для последней ступени компрессионного испытания в среднем составила 0,037 д.е. [2].

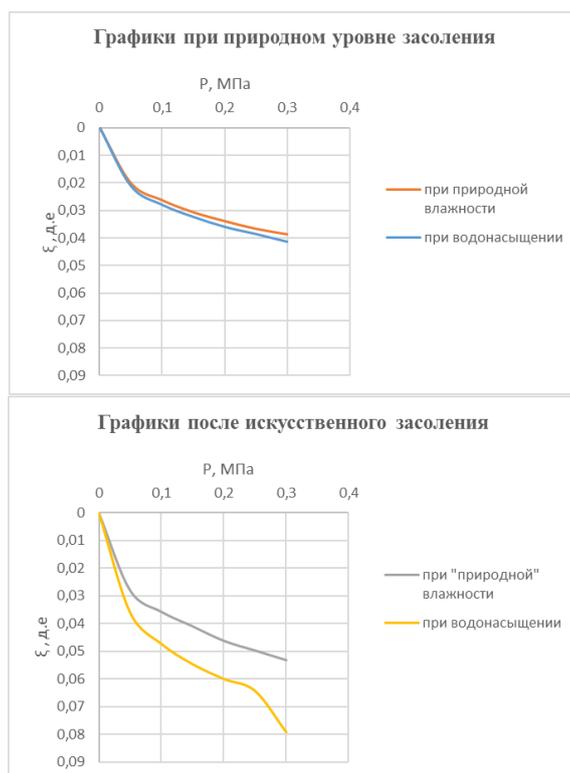


Рисунок 4. Усредненные графики компрессионных испытаний

Стоит отметить, что морены считаются изначально переуплотненными грунтами, которые не обладают какой-либо просадочностью в природных условиях [3]. В случае испытанных грунтов, которые в естественном сложении обладали крайне низкими коэффициентами пористости и высокими природными плотностями, такое явное увеличение относительной просадки является дополнительным подтверждением верности выдвинутого предположения о «приобретении» просадочных свойств грунтов в результате их засоления.

### Выводы

На данном этапе работы описанная методика подтвердила состоятельность гипотезы, однако результаты являются предварительными ввиду малой выборки. Планируется проведение дополнительных опытов аналогичными методами, а также испытания грунтов различного генезиса для уточнения статистики. Впоследствии будет проведен химический анализ испытанных грунтов и определена степень их засоления для дальнейшего сопоставления и поиска зависимости между относительной просадочностью и засоленностью грунта.

### Библиография

1. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация
2. ГОСТ 23161-2012 Метод лабораторного определения характеристик просадочности
3. Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
4. Рекомендации по определению деформационных свойств засоленных грунтов в полевых и лабораторных условиях. НИИОСП имени Н.М. Герсевича, 1980

## ***Опасности развития подводных оползней на территории Северного Каспия: Угроза инфраструктуре и экосистеме***

***Серочкина Е.А. (МГРИ, e.serochkina@yandex.ru)***

### **Аннотация**

Тезис посвящен исследованию опасностей, связанных с развитием подводных оползней на территории Северного Каспия, и их потенциального воздействия на инфраструктуру и экосистему региона. Рассматриваются основные факторы, способствующие возникновению подводных оползней, включая геологические, сейсмические и антропогенные аспекты. Особое внимание уделяется рискам для нефтегазовой инфраструктуры, а также последствиям для хрупкой экосистемы Каспийского моря. В работе предложены возможные меры по мониторингу и снижению угроз, связанных с подводными оползнями, что может быть полезно для разработки стратегий устойчивого развития региона.

### **Ключевые слова**

Подводные оползни, Северный Каспий, сейсмическая активность, антропогенное воздействие

### **Теория**

Северный Каспий, являясь ключевым регионом для добычи углеводородов и сохранения уникальных экосистем, сталкивается с растущими рисками, связанными с подводными оползнями.

Подводные оползни — это геодинамические процессы, активизируемые природными и антропогенными факторами, представляют прямую угрозу нефтегазовой инфраструктуре и хрупким экологическим системам Каспийского моря. Цель работы — анализ причин возникновения подводных оползней, оценка их воздействия и разработка рекомендаций по минимизации рисков.

Подводные оползни представляют угрозу важным объектам нефтегазового комплекса. Смещение донных масс может привести к разрушению подводных трубопроводов, деформации оснований буровых платформ и повреждению кабельных линий связи. Экологические последствия подводных оползней также носят катастрофический характер. Массовое заиливание дна (при смещении донных отложений) уничтожает бентосные сообщества — основу пищевой цепи для многих видов рыб, а также повреждение инфраструктуры провоцирует выбросы нефти и продуктов от ее добычи, что приводит к долгосрочному загрязнению акватории.

Зонами повышенного риска для возникновения подводных оползней, в северной части Каспийского моря, являются: мелководья с рыхлыми осадками, районы активной добычи нефти и газа, а также дельта реки Волга и Урал, так как эти зоны являются накопителями речных наносов, подверженные оползневым процессам (рис. 1).

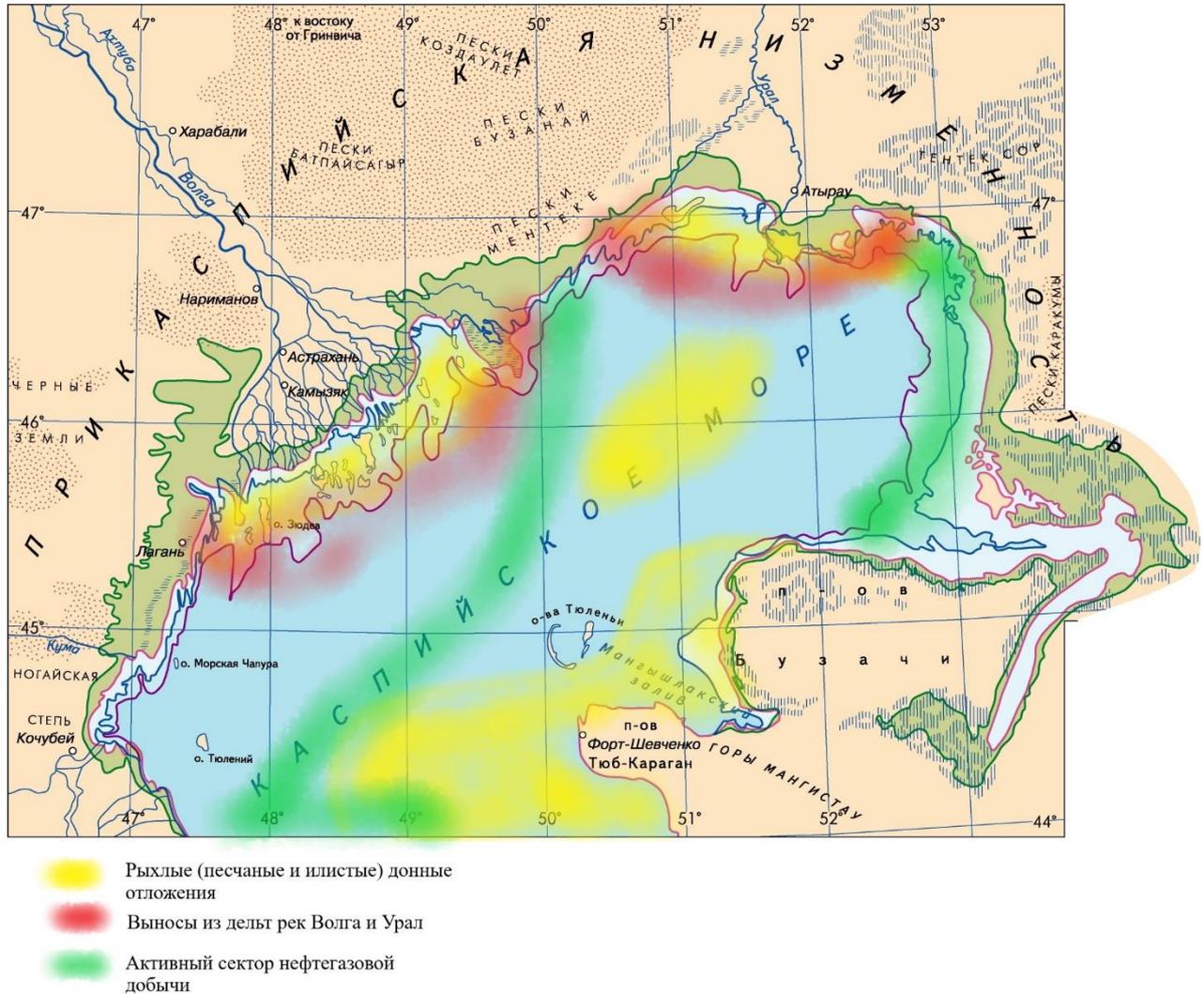


Рисунок 1. Участки, подверженные риску развития подводных оползней в северной части Каспийского моря

Подводные оползни активно развиваются из-за совмещения природных факторов и усиления антропологических.

Из природных факторов большое влияние имеют сложное геологическое строение дна, сейсмические колебания и гидродинамические процессы. Северный Каспий характеризуется сложным геологическим строением, так как донные отложения представлены чередованием глинистых, песчаных и илистых слоёв. Эти материалы, особенно в условиях повышенной влажности, склонны к разжижению и потере устойчивости. Сейсмические воздействия происходят в северной части регулярно, слабые землетрясения магнитудой до 4–5 баллов способны выступать триггером для активизации подводных оползневых процессов. Исторические данные свидетельствуют, что сейсмические события в Прикаспийской впадине неоднократно сопровождалось подводными смещениями грунта, что подтверждает их роль в дестабилизации донных отложений. Динамика уровня Каспийского моря, особенно его резкие колебания, оказывает значительное влияние на стабильность донных грунтов. Например, за

период измерений с 1921 по 2020 год уровень моря регулярно колебался, что привело к изменению гидростатического давления и перераспределению нагрузок на осадочные слои (рис. 2). Дополнительным фактором риска являются придонные течения, которые усиливают эрозию и перенос частиц, создавая зоны локальной нестабильности.

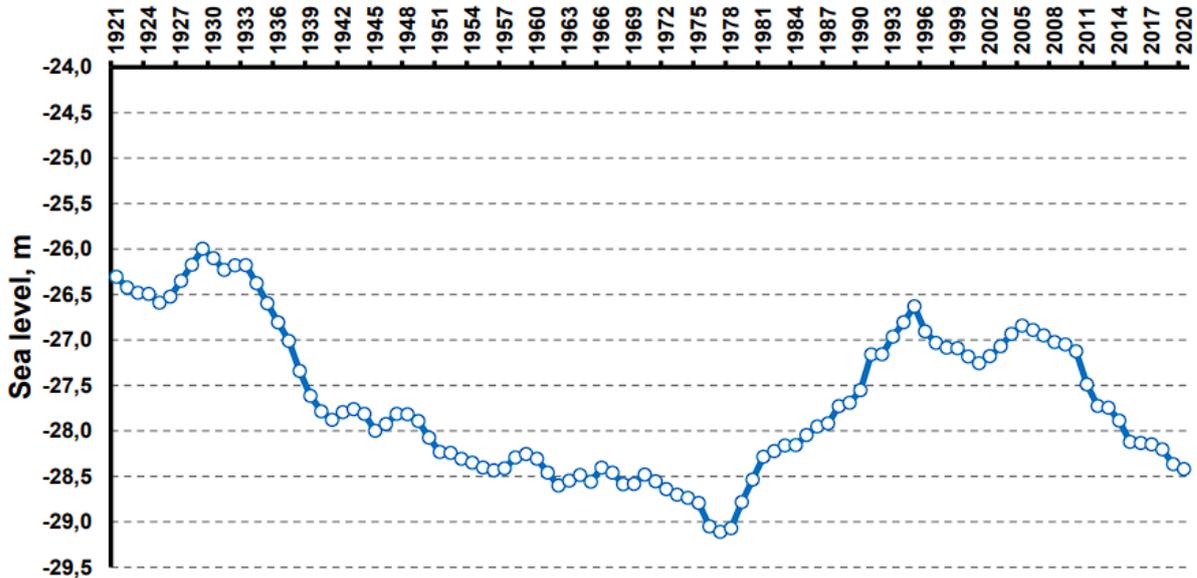


Рисунок 2. Уровни Каспийского моря с 1921 по 2020 год по данным поста Кара-Богаз-Гол

К техногенным факторам, усиливающим риски возникновения и развития подводных оползней стоит отнести добычу углеводородов и связанные с этим дноуглубительные работы. Антропогенное воздействие вносит существенный вклад в дестабилизацию донных грунтов. Эксплуатация скважин сопровождается снижением гидростатического давления в пластах, что ослабляет сцепление между частицами породы. Вибрации от буровых установок, судового транспорта и подводных взрывов дополнительно разрушают структуру грунта. Кроме того, прокладка трубопроводов и установка платформ нарушают естественную целостность донных отложений, создавая техногенные зоны риска.

### Выводы

Риски подводных оползней в северной части Каспийского моря, очевидны и значимы. Они обусловлены сочетанием естественных геологических процессов и антропогенного воздействия. Следует внедрять меры по снижению рисков развития подводных оползней, например, мониторинг донных отложений с использованием гидролокаторов и спутников радиолокационной интерферометрии, а также ввести экологические регуляторные функции (запрет на строительство в геодинамически активных зонах, международные экологические стандарты). Без внедрения системного мониторинга, ужесточения экологических стандартов и международного сотрудничества угрозы возникновения подводных оползней будут нарастать, ставя под удар как экономику Северо-Каспийского региона, так и его уникальную экосистему.

### Библиография

1. К.К. Дускаев, Н.З. Зайдолла. Загрязнение Северной части Каспийского моря. Вестник КазНУ, 2014 г.

2. В.Е. Вержбицкий, О.В. Левченко, Л.И. Лобковский. Новые данные о четвертичных процессах подводного оползания на западном склоне Дербентской котловины (Каспийское море). М., 2007 г.
3. Н.Н. Митина, Б.М. Малашенков, Л.А. Телитченко. Подводные ландшафты Северного Каспия: структура, гидроэкология, охрана. М., 2016 г.
4. Леонтьев О. К., Маев Е. Г., Рычагов Г. И. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. – М.: Издательство Московского университета, 1977. – 208 с.

## ***Оценка опасности экзогенных геологических процессов на Байкальской природной территории***

***Шатохин К.А.\* (ФГБУ Гидроспецгеология, stoneround63@gmail.com)***

### **Аннотация**

Оценка опасности экзогенных геологических процессов (в дальнейшем ЭГП) на Байкальской природной территории – важный элемент успешного развития регионов, попадающих на данную территорию.

Понимание о состоянии природной среды позволяет не только дополнять изученность территории, но и дает понимание о возможности развития строительной и экономической сфер, а прогнозные работы по опасности ЭГП помогают избежать чрезвычайных ситуаций, отрицательно сказывающихся на жизни местного населения.

### **Ключевые слова**

Наблюдательная сеть, экзогенные геологические процессы, оценка опасности, состояние природной территории, система мониторинга

### **Теория**

Байкальская природная территория (рис. 1) – территория, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2006 № 1641-р., в состав которой входят озеро Байкал, водоохранная зона, прилегающая к озеру Байкал, его водосборная площадь в пределах территории Российской Федерации, особо охраняемые природные территории, прилегающие к озеру Байкал, а также прилегающая к озеру Байкал территория шириной до 200 километров на запад и северо-запад от него. [2]

Данная территория чрезвычайно интересна не только с геологической, но и с инженерно-геологической точки зрения. Уникальные природные условия и возрастающее влияние хозяйственного освоения территории определили генетические особенности и общие тенденции развития многочисленных видов экзогенных геологических процессов.

### ***Оценка опасности экзогенных геологических процессов***

В первую очередь задача оценки опасности экзогенных геологических процессов – получение информации о состоянии окружающей среды природной территории на предмет протекающих естественных процессов. К этим процессам относятся: оползневой, обвальный, осыпной, овражной эрозии, карстовый, суффозионный, эоловый, курумообразования, солифлюкционный, термокарстовый.

Данные процессы, в частности активизирующие на территории населенных пунктов, оказывают непосредственное влияние на жизнедеятельность людей, подвергая общество не только материальному ущербу, но и создавая угрозу жизни.

При работе с региональным масштабом эффективным методом является оценка опасности территории. Результатом работы в данном случае является построение карт опасности для каждого вида ЭГП. (Рис. 2) Созданные карты отражают вероятность проявления, или же опасность ЭГП на выбранной территории.



Рисунок 1. Байкальская природная территория

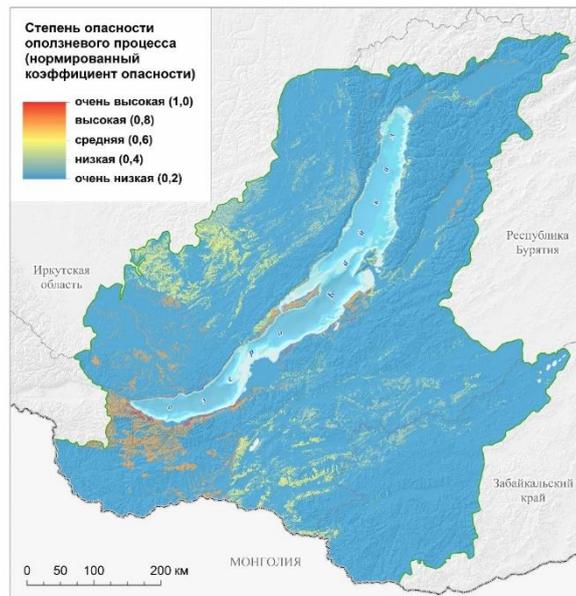


Рисунок 2. Карта опасности оползневой процесса на БПТ

Под опасностью ЭГП понимается вероятность их проявления в заданном месте, в заданное время и с определенными энергетическими характеристиками. Опасность ЭГП определяется качественными и количественными показателями: генетическими особенностями процесса, частотностью встречаемости форм проявления процесса, частотой проявления во времени, размерами, скоростью проявления и энергетикой процесса.[1]

Оценка опасности экзогенных геологических процессов – масштабная работа, состоящая из нескольких этапов:

1. Изучение фондовой информации об инженерно-геологических условиях территории.

2. Выявление наиболее значимых факторов, определяющих пространственное и временное распределение проявлений опасных ЭГП.

3. Построение карт опасностей ЭГП, учитывающих условия развития и факторы активизации ЭГП.

4. Создание отчета о проделанной работе, содержащего выводы о вероятности проявления ЭГП на данной территории в заданное время.

Список задач может увеличиваться исходя из необходимости получения различной информации, влияющей на анализ распространения и активизацию ЭГП.

Важной частью работы по получению информации об ЭГП является создание наблюдательной сети, благодаря которой информацию возможно получать в режиме реального времени.

#### *Наблюдательная сеть*

Под наблюдательной сетью понимается создание пунктов наблюдений на выбранной территории. Пункт наблюдений – участок территории, в пределах которого проводится сбор информации о проявлениях ЭГП. Получать информацию возможно разными способами:

1. При помощи установленного на автоматизированных пунктах оборудования, например, автономных телеметрических измерительных комплексов, предназначенных для измерения показателей опасных ЭГП и оснащенных сотовым каналом связи. Данное оборудование позволяет производить замеры от 6 до 12 раз в сутки и ежедневно передавать информацию на сервер.

2. При проведении плановых и оперативных инженерно-геологических обследований на обычных пунктах, что включает как наземные маршруты, так и использование беспилотных летательных аппаратов, с помощью которых возможно получать снимки недоступной для пешей съемки местности и замером показателей ЭГП.

3. По данным дистанционного зондирования Земли.

Система пунктов получения информации (СППИИФ) должна в полном объеме и надлежащем качестве обеспечивать получаемую экзогеодинамическую информацию. По пространственным отношениям пунктов получения информации СППИИФы разделяются на нерегулярные и регулярные. В нерегулярном СППИИФе расстояния между точками получения информации непостоянны. По принципу работы пункты делятся на автоматизированные и обычные.

Пункты наблюдений выбираются после построения карты степени изменчивости экзогеодинамических условий. Как правило, это участки с высокой степенью изменчивости. Количество пунктов наблюдений определяется по формуле подсчета объемов СППИИФа (Г.К. Бондарик, 2018).

В настоящее время мониторинговая сеть Байкальской природной территории включает в себя только 45 пунктов получения информации, на участках которых проводятся перечисленные выше виды работ. Более половины из них являются неавтоматизированными, что затрудняет измерение показателей ЭГП. Учитывая два фактора – большую площадь участков с высокой степенью изменчивости экзогеодинамических условий и наличие преимущественно нерегулярных, неавтоматизированных пунктов получения информации – можно сделать вывод о необходимости совершенствования методики мониторинга опасных ЭГП и увеличении пунктов получения качественной информации в больших объемах для возможности прогнозирования участков с наибольшей вероятностью активизации опасных ЭГП.

### **Выводы**

Оценка опасности ЭГП Байкальской природной территории позволяет получать информацию о состоянии природной среды, необходимую для дальнейшего геологического изучения, создания новой инфраструктуры на территории, рационального использования недр, предупреждения местного населения о возможных экологических чрезвычайных ситуациях.

Для выполнения этих задач необходима модернизация системы мониторинга. В качестве методов совершенствования предлагается:

1. Проанализировать состояние территории и выявить наиболее пораженные участки с последующим обоснованием создания на данных участках регулярной, автоматизированной сети пунктов для ежедневного отслеживания проявлений ЭГП.
2. Внедрить использование беспилотных летательных аппаратов на постоянной основе для получения наиболее качественных снимков на неавтоматизированных пунктах.
3. Обеспечить построение карт опасности для каждого вида ЭГП в режиме реального времени.

### **Библиография**

1. Осипов В.И. и др. Опасные экзогенные процессы. — М.: ГЕОС, 1999. — 290 с.
2. Отчет о результатах работ по объекту «ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДОИЗУЧЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ», Книга №2. Текстовые приложения 1-5., Вожик А.А., 2024 г.
3. Г.К. Бондарик «Методика инженерно-геологических исследований», Москва «Недра», 1986 г.
4. Г.К. Бондарик «Инженерная геодинамика», изд. 4, доп., 2018.

***Инженерно-геологические условия ИПТС объекта культурного наследия регионального значения «Усадьба Шереметевых» в респ. Марий Эл***

***Николаева П.А.\* (МГРИ, ra.nikolaeva@gmail.com),  
Кравцов М.А. (МГРИ, maksim.kravtsov.2003@bk.ru),  
Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, МГРИ, fbufeev@mail.ru)***

**Аннотация**

В настоящей работе рассмотрены природные условия исторической природно-технической системы – «Главный дом», входящего в состав ансамбля объекта культурного наследия регионального значения «Усадьба Шереметевых», расположенного в Юринском районе, поселке городского типа Юрино, республики Марий Эл на левом берегу реки Волги неподалеку от впадающей в неё Ветлуги. Строительство началось в 1874 году и продлилось до 1915 года. Замок возведен по проекту немецкого архитектора Рудольфа Мюллера, в стиле поздней неоготики, имеет черты готического, восточного, романского и древнерусских стилей. В настоящий момент времени объект имеет видимые разрушения на фасаде, а также частичное выщелачивание кладочного раствора и частичное разрушение отдельных кирпичей в основании.

**Ключевые слова**

Объект культурного наследия, строительные материалы, фундамент, ремонтно-реставрационные работы

**Теория**

На состояние архитектурного сооружения оказывает влияние множество различных факторов, один из которых — это техническое состояние фундаментов. Неудовлетворительное техническое состояние конструкций фундаментов может привести к негативным последствиям для всего сооружения, начиная от деформаций и заканчивая полным разрушением. Эту проблему можно рассмотреть на примере объекта культурного наследия регионального значения «Усадьба Шереметевых» (рис.1), расположенного в поселке городского типа Юрино Юринского района, республика Марий Эл.



Рисунок 1. Усадьба Шереметевых

История замка Шереметева в поселке Юрино берет начало в 1812 году, когда село приобрел Василий Сергеевич Шереметев, богатейший помещик Нижегородской губернии и внучатый племянник знаменитого фельдмаршала Петра I. Строительство замка началось в 1874 году и продолжалось до 1915 года. Автором проекта выступил немецкий архитектор Рудольф Мюллер, а в разработке участвовали такие мастера, как А. Штерн, А. Парланд, А. Корш, С. К. Родионов и П. П. Малиновский. После революции 1917 года усадьба была национализирована, и в ее стенах размещались санаторий и дом отдыха. В годы Великой Отечественной войны замок превратился в госпиталь, а к 1990-м годам его интерьеры пришли в упадок. В настоящее время замок реставрируется, часть помещений используется как гостиничный комплекс.

Замок Шереметева выполнен в стиле поздней неоготики, но в его архитектуре также встречаются элементы готики, барокко, романского, восточного и даже древнерусского стилей. Внешний облик разнообразен: стрельчатые окна, характерные для готики, пересекаются с барочной лепниной, романскими башнями и восточными орнаментами. Главный фасад украшен высокими башнями, остроконечными шпилями и зубчатыми парапетами, создающими впечатление средневекового европейского замка. Замок имеет сложную объемную композицию с несколькими башнями разной высоты и формы. Фасады декорированы лепниной, резьбой и коваными элементами. Замок окружает парк, выполненный в английском стиле, с аллеями, фонтанами и прудами, завершающими архитектурный ансамбль.

Согласно результатам инженерно-геологического обследования фундаментов и грунтов основания, фундаменты замка ленточные, глубина заложения фундаментов изменяется от 1,7 до 3,4 м. Обследования фундаментов и грунтов оснований в составе комплексных научных исследований были выполнены в апреле 2024 г. сотрудниками ООО «РСК-Лазурит». Фундаменты представлены пятью разновидностями кладки:

1. Рядной кладкой из полнотелого керамического кирпича на известково-песчаном растворе.
2. Рядной кладкой из пиленых блоков известняка на известково-песчаном растворе.
3. Бутовой кладкой из облицовочных рваных блоков метаморфических и магматических горных пород на известково-песчаном растворе (раствор местами заменен на цементный).
4. Бутовой кладкой из рваных блоков известняка на известково-песчаном растворе.
5. Бутовой кладкой щебня полнотелого керамического кирпича на известково-песчаном растворе.

Техническое состояние фундаментов характеризуется как ограниченно-работоспособное в связи с дефектами, выражающимися в полном или частичном разрушении фрагментов кладок, а также в выщелачивании кладочного раствора. Причиной этим дефектам служит выветривание вследствие переувлажнения кладок. Песчаные грунты, слагающие разрез до изучаемой глубины, на момент обследования характеризовались средней степенью водонасыщения, при этом было отмечено отсутствие гидроизоляции фундаментов. Скопление влаги может происходить как за счет грунтовых вод, так и за счет поверхностного стока.



Рисунок 2. Пример кладки фундамента

Таким образом, для оптимизации условий функционирования памятника необходимо выполнить инъектирование фундаментов и цементацию контакта фундамент-грунт по специально разработанному проекту. Также необходимо создание наблюдательной сети и проведение геодезического мониторинга деформаций конструкций.

Для борьбы с причинами дефектов и деформаций замка необходима организация вертикальной планировки территории для отвода поверхностных вод от конструкций сооружения. Также необходимо создание отмостки по периметру сооружения. Отмостка должна быть дискретной и обеспечивать паро- и влагопроницаемость.

### **Выводы**

Усадьба Шереметьева находится в эксплуатации и для дальнейшего его сохранения использования необходимы ремонтно-реставрационные работы. Таким образом информация, полученная при проведении инженерно-геологического обследования фундаментов и грунтов основания, поможет разработать правильный проект ремонтно-реставрационных работ. На весь период проведения реставрационных работ и, как минимум, в течение одного года после их завершения необходимо создание наблюдательной сети и проведение геодезического мониторинга деформаций конструкций. Помимо мониторинга рекомендуется выполнение отмостки по периметру сооружения, а также вертикальной планировки территории для обеспечения отвода поверхностных вод от стен сооружения.

### **Библиография**

1. Электронный ресурс «Замок Шереметьева». URL: [www.zamoksheremeteva.com](http://www.zamoksheremeteva.com)

2. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. — 4-е изд., доп. — М. : АНО «Традиция», 2022. — 368 с. : ил.
3. Подъяпольский С. С. и др. Реставрация памятников архитектуры / С. С. Подъяпольский, Г. Б. Бессонов, Л. А. Беляев. — 2-е изд. — М.: Стройиздат, 2001. — 288 с.
4. Тарасова В. М. Юринская вотчина Шереметевых в первой половине XIX в. // Труды Марийского научно-исследовательского института. — Вып. 14. — Йошкар-Ола, 1959.

*Инженерно-геологическая оценка состояния ИПТС деревянной церкви Вознесения  
Господня 1651 года в д. Пияла Онежского района Архангельской области*

*Кутняк К.В. \* (МГРИ, k.kutnak17@mail.ru),  
Гудошников К.О. (МГРИ, gudoshnikov-k@mail.ru),  
Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, МГРИ, fbufeev@mail.ru)*

**Аннотация**

Объектом исследования является Церковь Вознесения Господня, построенная в 1651 году в деревне Пияла Архангельской области – уникальный памятник русского деревянного зодчества. Сорокапятиметровая шатровая церковь является самым высоким объектом деревянного зодчества на территории России.

Актуальность работы определяется уникальностью объекта и сложившимися негативными условиями эксплуатации, приведшими к отклонению деревянного шатра на два метра относительно оси. недостаточной изученностью инженерно-геологических условий объекта. Предметом исследования является изучение инженерно-геологических условий территории храма для разработки мероприятий по сохранению объекта.

**Ключевые слова**

Деревянные храмы, реконструкция, памятники архитектуры, Пияла

**Теория**

В последние годы в реставрационной практике наметилась тенденция комплексного подхода к изучению взаимодействий между памятниками архитектуры и окружающей средой, в первую очередь геологической [1]. При этом наименьшее внимание уделяется изучению функционирования исторических природно-технических систем, в которых подсистема «памятник» представлена объектами деревянного зодчества. Деревянное зодчество в принципе представляет собой один из самых малоизученных пластов русской архитектуры и нуждается в дальнейшем глубоком и всестороннем изучении [2].

Комплекс погоста Пияла Архангельской области сложился в XVII-XVIII веках. Самая ранняя постройка – шатровая Вознесенская церковь, возведённая в 1651 г. Позже, в 1685 г., построили зимнюю Климентовскую церковь, а в 1700 – колокольню. Вознесенская церковь была частью "тройника" - ансамбля из зимней и летней церквей, а также колокольни. Климентовский храм был утрачен в 1967 году в результате пожара: в алтарь попала шаровая молния, после чего ансамбль погоста утратил историческую композиционную логику.

Церковь Вознесения Господня на подклете, обшита тёсом, типа «восьмерик на четверике». Храм шатровый, крестообразный в плане – квадрат основания с четырьмя симметричными прирубами. Четверик переходит в сравнительно невысокий восьмерик и завершается шатром.

В настоящее время церковь Вознесения Господня шатёр накренилась вбок и памятнику необходима реконструкция (рисунок 1).



Рисунок 1. Вид на церковь Вознесения Господня

В сентябре 2024 года студенческим отрядом МГРИ им. Серго Орджоникидзе под руководством доцента кафедры инженерной геологии Ф.К. Буфеева по заказу АНО «Традиция» были выполнены работы по изучению инженерно-геологических условий эксплуатации ансамбля церкви Вознесения и колокольни.

Ансамбль расположен на территории деревни Пияла Онежского района Архангельской области на правом высоком берегу р. Онеги. Поверхность площадки, на которой возведен храм горизонтальная равнинная нерасчлененная, однако вблизи бровки склона развиваются промоины, максимальной глубина которых достигает 1,1 м.

В тектоническом отношении территория располагается на Русской плите древней Восточно-Европейской платформы. В целом исследуемый участок принадлежит к области, испытывающей в настоящее время слабые положительные движения, которые не будут оказывать существенного влияния на реставрируемое сооружение

Расчётная сейсмическая интенсивность района работ в соответствии со СНиП II-7-81\*(СП 14.13330.2018) для объектов II уровня ответственности в баллах MSK-64 для трёх степеней опасности – А (10%), В (5%), С (1%) в течение 50 лет составляет 5 баллов (карты ОСР-2016-А,В) и 6 баллов (карта ОСР-2016-С). Примечание: карта А (массовое строительство); карта В (объекты повышенной ответственности); карта С (особо ответственные объекты).

Для оценки инженерно-геологических условий студенческим отрядом были выполнены следующие виды работ:

- рекогносцировочное обследование территории;

- деформационная съёмка сооружений ансамбля;
- геодезическая съёмка местности;
- проходка скважин;
- штамповые испытания грунтов;
- лабораторные исследования свойств грунтов;
- камеральная обработка полученных материалов.

По результатам нивелирной и теодолитной съёмок был составлен топографический план местности в масштабе 1:500, на который были вынесены храм, колокольня, берег реки и дороги

В процессе проходки инженерно-геологической съёмки, проходки горных выработок и лабораторного изучения свойств грунтов, с учётом анализа картографического материала, было установлено, что в геологическом строении территории до глубины 4,5 м принимают участие современные техногенные накопления и современные озерно-аллювиальные отложения.

Гидрогеологические условия характеризуются наличием подземных вод типа «верховодка», которые были вскрыты в процессе проходки инженерно-геологических скважин 1,0-1,5 м. Учитывая геологическое строение, в периоды активного выпадения осадков, половодья и снеготаяния, в слое слабофильтрующих глинистых грунтов, может образовываться горизонт «верховодки». Выдержанный безнапорный горизонт грунтовых вод зафиксирован на глубине 3.00 – 4.18 м. Однако, учитывая геологическое строение, в периоды активного выпадения осадков, половодья и снеготаяния возможно образование горизонта «верховодки».

При проведении рекогносцировочного обследования была зафиксирована активная боковая эрозия. Так как берег, на котором расположен храм подвержен боковой речной эрозии, то на его склоне активно развивается оползневой процесс. Об этом свидетельствуют характерный рельеф с явно выраженными оползшими блоками и обнаженными стенками срыва, а также уклон кустов и деревьев в сторону реки, разгрузка подземных вод в виде родников в нижней части склона и наличие переувлажненных участков с произрастающей влаголюбивой растительностью. Наибольшую опасность оползневой процесс представляет для колокольни, расположенной у бровки склона.

Несмотря на развитие опасных и масштабных процессов вблизи сооружения, наибольшее влияние на деформации Вознесенской церкви оказывает переувлажнение грунтов основания и деревянных конструкций храма (рисунок 3), вызванное отсутствием вертикальной планировки территории. Переувлажнение грунтов вызывает развитие процесса морозного пучения – одного из самых неблагоприятных для сооружений на бутовых фундаментах. Причиной его является отрицательная температура в зимний период, а к условиям относится наличие пылеватых частиц в грунтах и их повышенная влажность. Морозное пучение приводит к перемещению отдельных блоков бутового фундамента и перераспределению нагрузок от сооружения.

Также переувлажнение грунтов вызвано периодическим затоплением территории храма. На территории д. Пияла известны два случая затопления: в 60-х годах XX века и 1997-ом году.

Отсутствие регулярного ухода за территорией вокруг храма и строительство дороги привело к изменению первоначальной формы поверхности земли – в целом уровень поверхности земли поднялся, однако образовались локальные понижения с южной и восточной сторон храма.

### **Выводы**

По результатам выполненных работ можно сделать вывод о том, что избыточное увлажнение грунтов основания привело к гниению лежней и нижних венцов сруба на северной стороне храма. Также проявление процесса морозного пучения привело к неравномерной деформации бутовой кладки фундаментов (осадке и запрокидыванию блоков кладки). Эти факторы привели к отклонению деревянного шатра церкви на два метра относительно оси.

### **Библиография**

1. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. — 4-е изд., доп. — М. : АНО «Традиция», 2022. — 368 с. : ил.
2. Бодэ А.Б. Деревянное зодчество Русского Севера: Архитектурная сокровищница Поонежья. Изд. 2-е. — М.: КомКнига, 2010 — 208 с.
3. Суслов В.В. Очерки по истории древнерусского зодчества. СПб., 1889.
4. Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М., Яныкин А.В. Стабилизация деформаций объектов культурного наследия, имеющих малую глубину заложения фундаментов. Сборник тезисов 7-го Международного научно-практического Симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». сс. 26-28, 2018.

*Анализ причин деформаций объекта культурного наследия федерального значения  
оранжереи в парке Кузьминки*

*Паславская А.Р.\* (МГРИ, paslavskaya03@mail.ru),  
Капитанов А.Д. (МГРИ, artem\_lobnya@mail.ru),  
Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, МГРИ, fbufeev@mail.ru)*

**Аннотация**

В настоящей работе рассмотрены причины деформаций объекта культурного наследия федерального значения – оранжереи XIX века, расположенной в усадьбе Кузьминки. Здание построено по проекту Д.И. Жилярди в начале XIX в и претерпело ряд изменений и перестроек на протяжении своей истории. К настоящему моменту часть стен разрушена, отсутствует кровля, в результате чего активно развивается процесс выветривания.

**Ключевые слова**

Памятники архитектуры, диагностика деформаций, объект культурного наследия, реставрация

**Теория**

Одним из основных процессов, негативно воздействующих на кладку инженерных сооружений, является выветривание. В качестве примера комплексного влияния различных агентов выветривания на состояние несущих конструкций памятников архитектуры в настоящей работе рассмотрен объект культурного наследия федерального значения: «Оранжерея», XIX в., расположенного по адресу: г. Москва, ул. Кузьминская, д. 6, стр. 3.

"В 1821—1823 гг. по проекту Д.И. Жилярди было выстроено оранжерейное здание, состоявшее из четырёх оранжерей, называвшихся фруктовыми или большими. Центр больших оранжерей был перекрыт куполом. К южному фасаду примыкали деревянные, возможно, приставные оранжереи, в которые фруктовые деревья выносили в весеннее время. В 1832 г. к западному фасаду здания Д.И. Жилярди пристроил еще две оранжереи – ананасную и цветочную. В результате все сооружение приобрело форму в плане в виде буквы П. На литографии по рисунку Ж.Н. Рауха 1841 г. оно названо «фруктовыми теплицами»." [1]



Рисунок 1. Ж.Н. Раух «Фруктовые теплицы», 1841 г.

В геоморфологическом отношении оранжерея находится на левом берегу Москвы-реки в пределах 2-й надпойменной (мневниковской) террасы. Естественный рельеф погребён техногенными накоплениями мощностью до 3-х метров.

В ноябре 2024 г. ООО «РСК-Лазурит» Были выполнены работы по комплексному обследованию здания оранжереи.

Результаты обследования показали, что фундаменты оранжереи ленточные, представлены следующими разновидностями кладки:

- рядной кладкой керамического полнотелого кирпича на известково-песчаном растворе;
- рядной кладкой пиленых блоков известняка на известково-песчаном растворе;
- бутовой кладкой рваных блоков известняка и песчаника на известково-песчаном растворе;
- бутовой кладкой щебня керамического полнотелого кирпича на известково-песчаном растворе.

Глубина заложения ленточных фундаментов внешних стен сооружения м от уровня поверхности земли составляет от 1,88 м до 3,00 м.

Грунтами основания здания являются аллювиальные отложения низкого уровня мневниковской террасы калининского горизонта верхнего звена неоплейстоцена: песок средней крупности светло-коричневый неоднородный маловлажный рыхлый с включениями дресвы и гравия магматических и метаморфических пород, содержанием до 10%. Подземные воды в процессе проходки шурфов не обнаружены.

Результаты обследования фундаментов показали их полную работоспособность – необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания с учётом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается.

В процессе работ было зафиксировано низкое качество кирпича, полученного путём недостаточно тщательного обжига покровных суглинков. Результатом этого стало повсеместное развитие сотового выветривания кладки. Низкое качество исходного сырья подтверждается не только развивающимся сотовым выветриванием – об этом также говорят ярко выраженная слоистость кирпича.

На состояние памятника также повлияло развивающееся биологическое поражение первых десятков сантиметров кладки от поверхности земли. Задержавшаяся влага, вызванная отсутствием водосточной системы, создала благоприятную среду для развития микроорганизмов и мха. Это не только ухудшило внешний вид памятника, но и привело к снижению несущей способности кладки.

В ходе деформационной съёмки было обнаружено множество секущих трещин, зафиксировано смещение оси западной стены и полное разрушение отдельных участков стен. Неконтролируемый рост деревьев в непосредственной близости от памятника привёл к образованию обширной сети корней, пронизывающих стены. Трещины расширяются год за годом, так как здание на протяжении длительного времени никак не используется. "В 1-й половине 1920'х гг. искусствовед А.Н. Греч застал здесь оранжерею «...с уцелевшим ещё деревянным помещением для высоких пальм...». Впоследствии здание было использовано под жильё и постепенно из-за ветхости частично разобрано. "[1] Таким образом, структура памятника сохранялась жёсткой до тех пор, пока здание эксплуатировалось.



2013 г. (фотография с сайта  
<https://vadimirazumov.ru/46253.html>)



2024 г. (фотография авторов)

Рисунок 2. Вросшие корни

От оранжереи уцелело около трети первоначального объёма. У западной стены остались квадратные гнезда, вырубленные под балки – с этой стороны примыкала приставная «фруктовая теплица»; в техногенных накоплениях близ юго-западной части здания обнаружено большое скопление осколков стекла, предположительно погребённые после разрушения застеклённой части оранжереи.

### Выводы

Несмотря на удовлетворительное состояние фундаментов и грунтов основания, оранжерея находится в аварийном состоянии из-за значительных деформаций и разрушения стен. Основными причинами разрушения кладки являются физическое выветривание, обусловленное низким качеством кирпича, полученного в результате недостаточного обжига глины, и биологическое выветривание, вызванное проникновением корней деревьев в структуру здания. Установлено, что здание сохраняло структурную целостность до тех пор, пока эксплуатировалось. Зброшенность и отсутствие ухода привели к прогрессирующему разрушению. Результаты обследования позволяют наметить дальнейшие шаги по разработке проекта консервации объекта культурного наследия.

### Библиография

1. Коробко М.Ю. Кузьминки. М., Вече. 2009. С. 46-47
2. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры: монография /Евгений Меркурьевич Пашкин 4-е изд., доп. М: АНО «Традиция», 2022 368 с.
3. Разумов В. Усадьба КУЗЬМИНКИ, г. Москва. Обрушение оранжереи Жиллярди. / Разумов В. [Электронный ресурс] // LiveJournal : [сайт]. — URL: <https://vadimirazumov.ru/46253.html> (дата обращения: 24.02.2025).
4. Хроника вандализмов: Большие оранжереи на Садоводстве в усадьбе Кузьминки. / [Электронный ресурс] // LiveJournal : [сайт]. — URL: <https://lugerovski.livejournal.com/487390.html> (дата обращения: 24.02.2025).

***Анализ влияния инженерно-геологических условий на развитие деформаций памятников архитектуры в г. Старица, Тверской области***

***Кириченко А.С. (МГРИ, [anna.kirichenko2001@mail.ru](mailto:anna.kirichenko2001@mail.ru))***

**Аннотация**

В работе рассматривается проблема развития деформаций памятников архитектуры города Старица в результате влияния инженерно-геологических процессов. Город богат своими достопримечательностями и ценными историческими архитектурными памятниками. Во избежание утраты истории, следует обращать особо пристальное внимание к рассмотренным в статье памятникам. Таким образом, исследование сосредоточено на анализе деформаций важнейших архитектурных объектов, включая Старицкий Свято-Успенский мужской монастырь и другие значимые сооружения.

Путем изучения и анализа данных было выявлено распространение нескольких процессов, основным результатом которых являются трещины в конструкциях сооружений. Особое внимание уделяется воздействию суффозии, влиянию грунтовых вод, а также температурных колебаний, негативно влияющих на состояние исторических построек.

Следует отметить важность географического положения города, геоморфологических и климатических условий местности, а также близкого расположения реки Волги и ее влияния.

Работа основана на многолетних данных наблюдений и представляет собой комплексное исследование проблем сохранения архитектурного наследия в рамках природных условий данного региона.

**Ключевые слова**

Памятники архитектуры, инженерно-геологические условия, инженерно-геологические процессы, деформации

**Теория**

В Тверской области в 70 км от Твери расположился чудесный город Старица. Город разделен рекой Волгой на две части. Первое упоминание о Старице относится к 1297 году. Однако до XIV века город именовался Новый город и использовался для защиты юго-западных границ Тверского княжества Михаила Ярославовича.

Сам по себе город небольшой, площадью всего 7,75 км<sup>2</sup> и населением около 7000 человек. Но несмотря на все, этот город поистине можно назвать уникальным по своему разнообразию памятников архитектуры и иных достопримечательностей; здесь расположено 8 церквей, 7 часовен, 3 собора и 1 мужской монастырь.

Изучаемая часть Тверской области располагается на Валдайской возвышенности и имеет отметки 130–215 м (рис. 1). Город Старица располагается на Старицком поднятии, простирающемся в субширотном направлении. Крылья данной тектонической структуры пологие (10–15 м/км) [4]; древние участки долин наиболее крупных рек совпадают со сбросовыми нарушениями. В месте пересечения рекой Волгой Старицкой структуры высота первой террасы увеличивается примерно на 3,5 м, второй – на 11–12 м. Более того, долина в этом районе сужается и, таким образом, река врежется в нижние горизонты среднего карбона на глубину около 25 м [4].

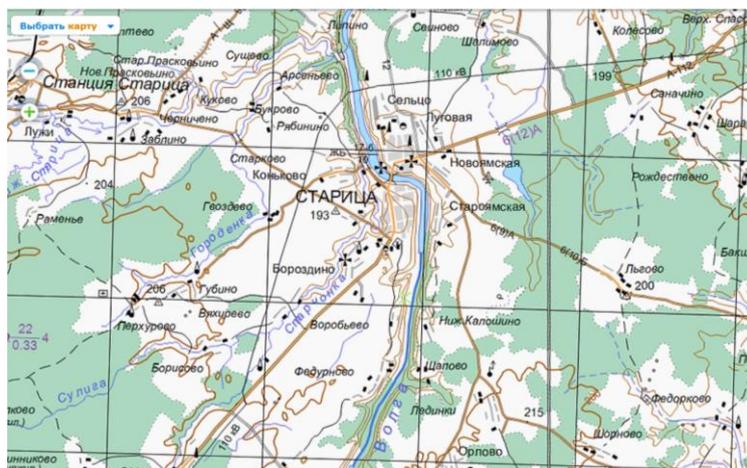


Рисунок 1. Карта рельефа в Старицком районе на географической карте (масштаб 1:200 000)

Крупнейшим водотоком Тверской области, как упоминалось ранее, является Волга, длина которой в пределах исследуемой территории составляет 145 км.

В геологическом строении территории принимают участие породы каменноугольного возраста, представленные преимущественно известняками, местами трещиноватыми. На известняках в водораздельных частях залегают ледниковые и водно-ледниковые отложения московского горизонта. В речных долинах отмечается присутствие современных аллювиальных отложений, слагающих поймы рек и ручьев. В долине реки Волги мощность их достигает 10 м. Пойменный аллювий сложен суглинками, супесями, песками и гравийно-галечниковым материалом [4].

По данным объяснительной записки к государственной геологической карте листа О-36-XXXV первая надпойменная терраса реки Волги и ее относительно крупных притоков сложена верхневалдайским аллювием. Местами терраса цокольная. В нижней части разреза присутствуют грубые гравийные пески и галечники, вверх переходящие в пески и супеси; мощность аллювия изменяется от 4 до 12 м.

Для Старицкого района характерно развитие нескольких экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, оказывающих негативное влияние на памятники архитектуры и иные сооружения города. К ним относятся карст, суффозия, физическое и биологическое выветривание, морозное пучение, речная эрозия.

Данная работа представляет собой сбор и анализ многолетних данных по деформациям следующих памятников: Старицкий Свято-Успенский мужской монастырь, включающий в себя Троицкую церковь, Успенский собор, Часовню Иова, Георгиевскую часовню, Введенскую церковь, церковь Иоанна Богослова и окруженный стеной (рис. 2а); Александро-Невская часовня, Пятницкая церковь, Спасская церковь и Собор Бориса и Глеба (рис. 2б).

На изучаемой территории в долине реки Волги развиваются несколько инженерно-геологических процессов, влекущих за собой активное развитие деформаций сооружений. Основными из них являются суффозия, один из результатов которой представлен ниже (рис.3), проявление температурных колебаний в виде температурных трещин между стенами и башнями монастырской стены (рис.4).

Также у Пятницкой церкви можно найти целый комплекс деформаций; некоторые из них представлены в виде результата влияния подземных вод и физического выветривания (рис. 5).

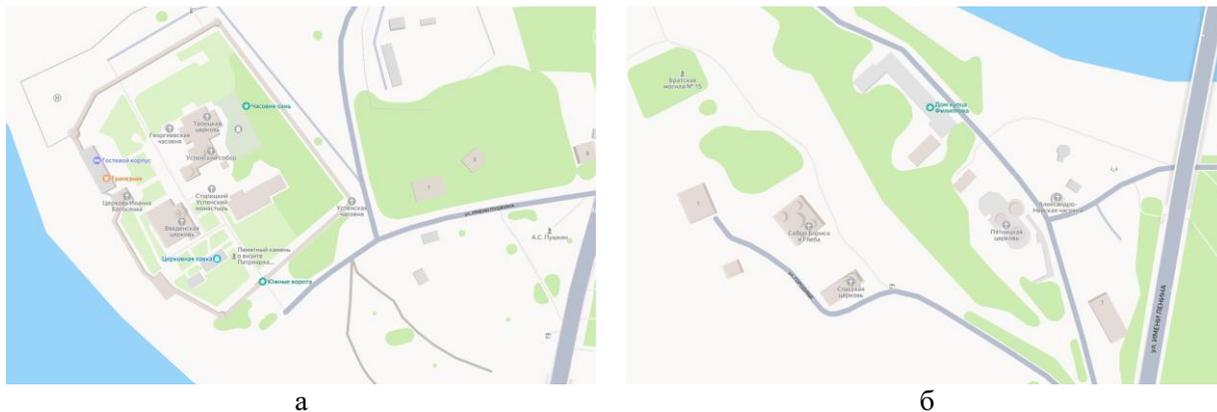


Рисунок 2. Расположение рассматриваемых памятников архитектуры на картах Яндекс: а) Старицкий Успенский мужской монастырь, б) Пятницкая церковь, Александро-Невская часовня, Собор Бориса и Глеба, Спасская церковь

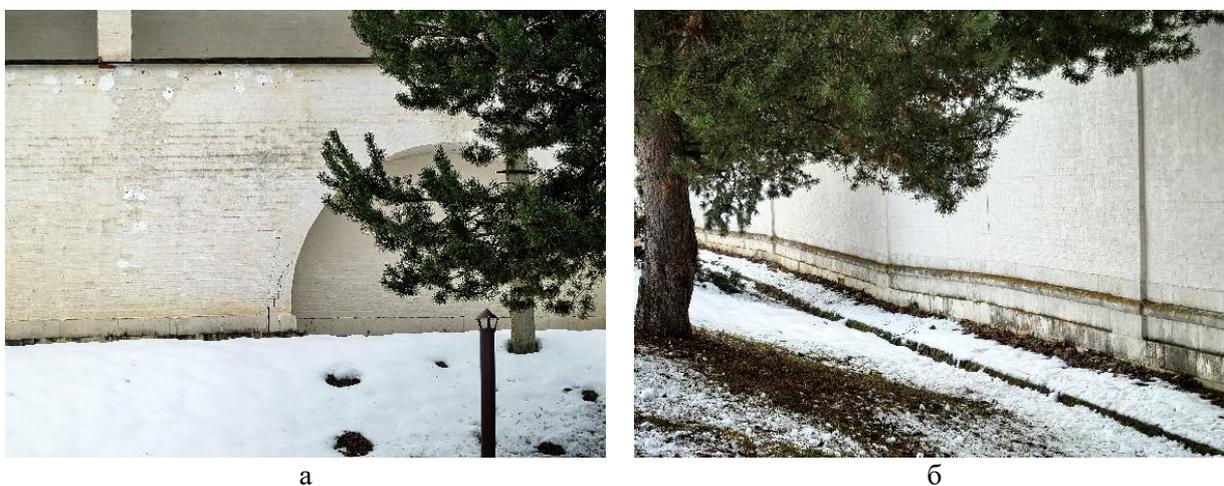


Рисунок 3. Проявления суффозионного процесса у восточной стены монастыря а) на территории и б) за пределами территории



Рисунок 4. Пример температурных трещин между а) северо-западной стеной и северо-западной башней, б) между западной стеной и юго-западной башней монастыря



а



б

Рисунок 5. Динамика выпора подпорной стенки территории Пятницкой церкви с сопутствующими проявлениями физического выветривания и капиллярного подсоса.

а) ситуация на 2014 г., б) ситуация на 2024 год

### **Выводы**

Автором получены результаты, подтверждающие активное развитие деформаций в конструкциях архитектурных памятников, происходит и по сей день. К сожалению, мероприятий по их прекращению практически не проводится, что еще больше усугубляет ситуацию и угрожает сохранению связи нынешних поколений с историей города. «Косметический ремонт» монастыря не является мерой предотвращения постепенного разрушения, а лишь маскирует проблемы за красивой картинкой. Известно, что в 2023 году город становился победителем во Всероссийском конкурсе Минстроя РФ. Должно было быть проведено благоустройство территории комплекса Пятницкой церкви. Однако на сегодняшний день Пятницкий собор до сих пор находится в состоянии ремонта и проведенные работы минимальны. Насколько будут предприняты меры по предотвращению деформаций и будут ли вообще? – неизвестно. Этот собор из всех памятников находится в самом плачевном состоянии, когда и насколько полностью он действительно будет «излечен» также неизвестно.

Слова благодарности хотелось бы выразить Вязковой О.Е. и Никишиной Т.А. за предоставление фотоматериалов, характеризующих ситуацию в прежние годы.

### **Библиография**

1. Барановский Н.Н. Заключение по инженерно-геологическим условиям участка мостового перехода через р. Волгу, г. Старица, Москва, Гипрокоммундортранс/ Н.Н. Барановский, 1955.
2. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика/ Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Яр. – М.: КДУ, 2018. – 472 с.
3. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры/ Е.М. Пашкин. – 4-е изд., доп. – М.: АНО «Традиция», 2022. – 368 с.
4. Семенов Л.Т. Объяснительная записка (Калининская и Смоленская обл.) к государственной геологической карте СССР м-ба 1:200 000. Серия Московская. Лист О-36-XXXV (Ржев)/ Л.Т. Семенов, 1975.
5. Старица в Верхневолжье – город на перекрестке русской истории [Электронный ресурс], <https://ruskontur.com/staricza-v-verhnevolzhe-gorod-na-perekrestke-russkoj-istorii/>.

**Разработка системы геотехнического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации детского технопарка в г. Новый Уренгой**

**Левкович-Маслюк М.И. \* (МГРИ, levkovich.mishalm@yandex.ru)**

**Аннотация**

В условиях вечной мерзлоты строительство и эксплуатация сооружения с позиции инженерной геологии значительно сложнее, потому они нуждаются в более продуманном геотехническом мониторинге. В данном тезисе показан составление геотехнического мониторинга на примере здания детского технопарка в городе Новый Уренгой Ямало-Ненецкого автономного округа.

**Ключевые слова**

Геотехнический мониторинг, криолитозона, сезонно-охлаждающие установки

**Теория**

В условиях вечной мерзлоты строительство и эксплуатация сооружения с позиции инженерной геологии значительно сложнее, потому они нуждаются в более продуманном геотехническом мониторинге. На примере детского технопарка в городе Новый Уренгой Ямало-Ненецкого автономного округа будут показаны основные принципы геотехнического мониторинга для сооружений в зоне вечной мерзлоты.

Географические условия территории являются типичными для севера Западной Сибири. На территорию, особенно на гидрогеологические, геологические и геоморфологические условия, значительное влияние оказывает наличие многолетнемерзлых пород и связанные с ними процессы.

Город Новый Уренгой находится в самой северной части умеренного климатического пояса, климатические условия напоминают таковые в субарктическом поясе, с длинной зимой (с октября по май) и непродолжительным летом, а также наличием полярной ночи и полярного дня. [2]

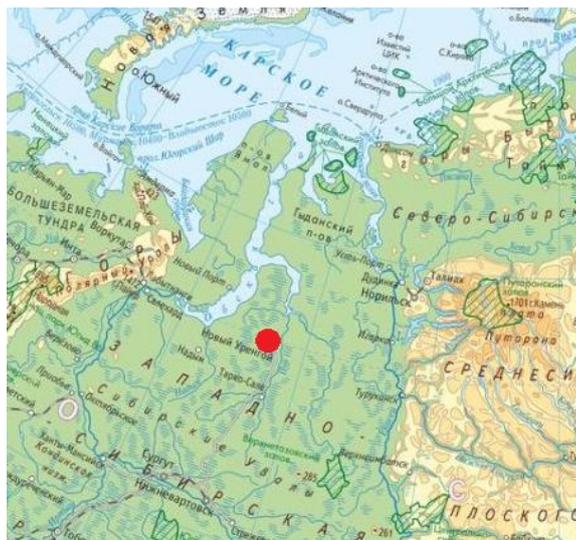


Рисунок 2. Обзорная карта участка работ

Рельеф вокруг Нового Уренгоя преимущественно равнинный, характерный для Западно-Сибирской низменности. Низменности заболочены, на территории много мерзлотных форм рельефа вроде термокарстовых котловин и бугров пучения. На территории есть много озёр, особенно в долинах рек. В геологическом строении на территории севера выделяется складчатый фундамент, сложенный породами доюрского возраста, и платформенные пологозалегающие отложения мезозоя и кайнозоя, лежащие выше.

Широким развитием пользуются надмерзлотные воды сезонно-протаивающего слоя, а также надмерзлотных таликов. Мощность зоны сезонного оттаивания мерзлоты в районе работ составляет 0,2-3,5 м. Площадь характеризуется распространением высокотемпературных (от 0.0 до  $-0.3^{\circ}\text{C}$ ) сливающегося и нессливающегося типов с погружением кровли вечномёрзлых грунтов до 5.0 – 7.0 м, реже до 10.0 – 15.0 м.

Непосредственно на территории строительства выделяется четыре инженерно-геологических элемента.

ИГЭ-1 – насыпной грунт, представляющий из себя песок. Характеризуется неравномерной плотностью и сжимаемостью, из-за чего меняются его физические свойства.

ИГЭ-2 представляет аллювиальный песок средней крупности, средней плотности в оттаявшем виде, малой степени водонасыщения.

ИГЭ-3 представляет аллювиальный песок средней крупности, средней плотности в оттаявшем виде, средней степени водонасыщения.

ИГЭ-4 на территории представлен аллювиальным песком средней крупности, средней плотности в оттаявшем виде, водонасыщенным. [4]

Сооружение относится ко второму уровню ответственности. Оно, как и многие сооружения в городе, построено по второму принципу (с оттаиванием грунтов).

Техническое обследование здания нужно проводить не позднее чем через два года после ввода здания в эксплуатацию. Последующие обследования технического состояния здания должно проводится не реже, чем один раз в пять лет. Кроме того, если в конструкции объекта обнаруживается повреждение, то проводится внеочередное техническое обследование. [1]

В состав геотехнического мониторинга входит:

- устройство гидрогеологических скважин для наблюдения за характером обводнения грунтов естественного сложения;
- устройство термометрических скважин для наблюдения за температурами грунтов естественного сложения;
- устройство деформационных марок для наблюдения за деформациями фундаментов и несущих конструкций сооружения.

Наблюдения за температурным режимом грунтов оснований и фундаментов осуществляются с помощью термометрических скважин. Они предназначены для контроля за температурным режимом грунтов оснований и фундаментов сооружения, оценки изменений, происходящих в тепловом режиме грунтов в результате возведения и эксплуатации, за эффективностью применяемых систем термостабилизации грунтов, для получения конкретных данных о глубине залегания и температуре мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов в естественном залегании до строительства (для использования их в теплотехнических расчетах при проектировании).

Для измерений деформаций, осадок, кренов, сдвигов зданий и сооружений и их конструкций применяют методы инженерной геодезии. Измерения производятся специализированными организациями согласно ГОСТ 24846-81 и рекомендациям «Руководства по наблюдениям за деформациями зданий и сооружений». Допустимые значения предельных деформаций оснований задаются эксплуатирующей организацией, в

зависимости от технологических требований. Если значения не установлены, то принять их в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016.

Для гидрогеологических наблюдений используются специально пробуренные скважины. Гидрогеологические скважины устанавливаются для наблюдений за уровнем, температурой грунтовых вод и их химическим составом на участках фильтрационного движения подземных вод или в местах возможного обводнения грунтов оснований при эксплуатации сооружения.

Для контроля работы охлаждающих устройств проводится тепловизионная съемка. Она выполняется с помощью тепловизоров. Анализ тепловизионных снимков позволяет быстро, качественно, дистанционно, точно и с высокой степенью информативности определить работоспособность СОУ на основании разности температур между обремененной частью СОУ и окружающим воздухом.

Наряду с инструментальными обследованиями оснований и фундаментов выполняются визуальные исследования состояния строительных конструкций сооружения. Отмеченные нарушения (включая деформации, отклонения от проектной конструкции) документируются и фотографируются, при необходимости устанавливаются дополнительные деформационные марки и термометрические скважины.

Обустроенная сеть ГТМ поэтапно сдается по актам строительной организацией генподрядной организации, либо сразу на баланс эксплуатирующей организации одновременно со сдачей объекта в эксплуатацию. В случае, если период с момента окончания работ по обустройству сети ГТМ до сдачи объекта в эксплуатацию составляет более 3 месяцев, то генподрядная организация обязана принять по акту сеть ГТМ у исполнителя и обеспечить сохранность сети ГТМ до сдачи эксплуатирующей организации. [3]

### **Выводы**

Многолетнемёрзлые породы оказывают сильное влияние на принятия решений при планировании геотехнического мониторинга для сооружений, построенных на них. Для проведения геотехнического мониторинга у таких сооружений требуется проводить, помимо обычных методов, наблюдение за температурой грунтов.

### **Библиография**

1. Геотехнический мониторинг в строительстве. Учебное пособие / Е. М. Грязнова, А. Н. Гаврилов, Д. Ю. Чунюк, К. С. Борчев. – М.: Издательство АСВ, 2023 – 134 с.
2. Матвеев, Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы - / Л.Т. Матвеев, - Л.: Гидрометеиздат. 1984.
3. ООО «СЕВЕР». «Кванториум в г. Новый Уренгой» Проектная документация Геотехнический мониторинг НУ\_КВАНТ6//02-2022-ГТМ.
4. Положительное заключение государственной экспертизы № 89 – 1 -4 0152 - 14 по проектной документации объекта капитального строительства: 9-ти этажный жилой дом в г. Новый Уренгой, микрорайон Энтузиастов.

*Анализ результатов динамических испытаний грунтов сваями на примере «КЦ-2 КС  
Тосненская»*

*Николенко И.А. \* (МГРИ, nikolenkoia@mgri.ru),  
Кулешов А.П. (МГРИ, kyleshovap@mgri.ru)*

**Аннотация**

Динамические испытания свай — это распространённый метод для определения несущей способности свайных фундаментов. Его часто используют в строительстве, особенно в случаях, когда необходимо быстро получить данные о характеристиках грунта и способности свай выдерживать нагрузки.

Этот метод применяется при строительстве различных объектов, включая жилые и коммерческие здания, мосты, дамбы и другие инженерные сооружения. Он особенно актуален при работе со сложными грунтами, где статические методы могут быть менее точными или более трудоёмкими.

Анализ данных полученных после проведения испытаний выступает в качестве обоснования расчета несущей способности и позволяет проводить строительство в установленных инженерно-геологических условиях.

**Ключевые слова**

Динамические испытания свай, определение несущей способности, инженерно-геологические условия, контрольные испытания грунтов, динамическая нагрузка

**Теория**

Динамические испытания свай применяются при возведении разнообразных объектов. Применяем при работе со сложными типами грунтов, когда статические методы могут оказаться менее точными или более трудоёмкими.

Выбор метода испытаний зависит от условий конкретного проекта, типа грунта, требований к точности и сроков выполнения работ. Динамические испытания часто дополняют другими методами обследования, что позволяет получить более полное представление о несущей способности свай и обеспечить надёжность конструкции.

Динамические испытания свай приобретают особую значимость в контексте современных тенденций в строительстве:

1. Развитие высотного строительства.
2. Усложнение архитектурных решений.
3. Необходимость строительства на сложных грунтах.
4. Повышение требований к энергоэффективности зданий.
5. Необходимость учёта климатических изменений при проектировании.

В целом, динамические испытания свай играют ключевую роль в обеспечении безопасности, надёжности и эффективности современных строительных проектов, особенно в условиях усложняющихся требований и изменяющихся внешних факторов.

В административном отношении «КЦ-2 КС Тосненская» расположена в Тосненском районе к северу от пос. Радофинниково Ленинградской области. Расположение представлено на рисунке 1.

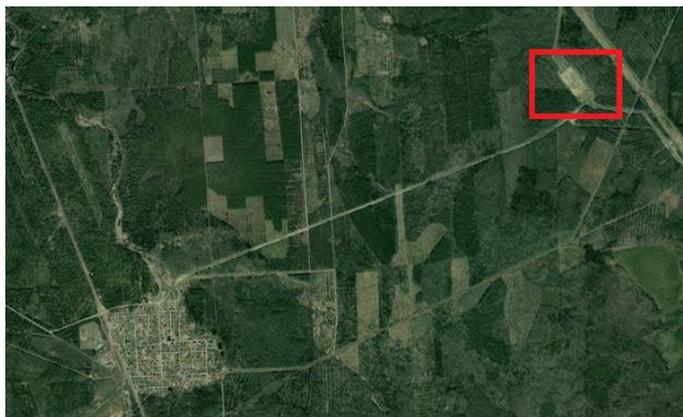


Рисунок 3. Расположение «КЦ-2 КС Тосненская» на карте относительно пос. Радофинниково Ленинградской области

В геологическом строении на разведанную глубину (до 10,0м) принимают участие современные техногенные ( $t_{IV}$ ), биогенные ( $b_{IV}$ ) и ледниковые ( $gl_{III}$ ) отложения.

Геологический разрез до глубины 10,0м сверху вниз выглядит следующим образом:

Биогенные отложения ( $b_{IV}$ ). Развита с поверхности повсеместно. Представлены почвенно-растительным слоем.

Техногенные грунты ( $t_{IV}$ ). Представлены элементами конструкции дорожной одежды (асфальтобетонное покрытие на щебеночном основании с песчаным и суглинистым заполнителем) и насыпными грунтами: песками, суглинками и супесями различной консистенции с включениями.

Ледниковые отложения ( $gl_{III}$ ). Развита практически на всем участке работ. Залегают как под биогенными так и техногенными. Литологически представлены суглинками от тугопластичных до полутвердых, легкими пылеватыми; песками от пылеватых до мелких, от средней плотности до плотных, водонасыщенными.

По результатам химических анализов водной вытяжки грунты не обладают агрессивными свойствами по отношению к бетону и к арматуре железобетонных конструкций.

К опасным геологическим процессам и явлениям на изучаемой территории можно отнести процессы морозного пучения грунтов, подтопления, заболачивания и поверхностного обводнения территории.

Испытания грунтов сваями динамическими нагрузками выполнялись 28.11.2022г. в соответствии с ГОСТ 5686-2020 [1], СП 24.13330.2021 [4] и Программой полевых испытаний грунтов сваями.

Всего на площадке строительства выполнено 3 контрольных испытания грунтов сваями №№ 1к, 37к, 65к динамическими нагрузками.

Динамические испытания проводились для проверки возможности погружения забивной сваи на намечаемую глубину, оценки несущей способности сваи, определяемой по значению отказа, а также для относительной оценки однородности грунтов по их сопротивлению погружению.

Расчетные нагрузки на сваи по результатам контрольных испытаний грунтов сваями динамическими нагрузками, рассчитываются в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2020 [1], СП 22.13330.2016 [3], СП 24.13330.2021 [4].

Сваю в составе фундамента и одиночную по несущей способности грунта основания следует рассчитывать исходя из условия (7.2) СП 24.13330.2021 [4]:

$$\gamma_n N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}, \quad (7.2)$$

где  $N$  — расчетная нагрузка, передаваемая на сваю от наиболее невыгодного сочетания нагрузок, действующих на фундамент;

$F_d$  — предельное сопротивление грунта основания одиночной сваи, называемая в дальнейшем несущей способностью сваи;

$\gamma_n$  — коэффициент надежности по ответственности сооружения;

$\gamma_{c,g}$  — коэффициент надежности по грунту.

Несущую способность  $F_d$  кН (тс) свай по результатам их испытаний динамическими нагрузками следует определять по формуле (7.18) СП 24.13330.2021 [4]:

$$F_d = \gamma_c \frac{F_{u,n}}{\gamma_{c,g1}}, \quad (7.18)$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы;

$F_{u,n}$  — нормативное значение предельного сопротивления сваи, кН;

$\gamma_{c,g1}$  — коэффициент надежности по грунту;

Значение частного предельного сопротивления свай  $F_{u,n}$  кН определяли по формуле:

$$F_{u,n} = \frac{\eta AM}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{4Ed}{\eta A S_a} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}} - 1 \right], \quad \text{где}$$

$\eta$  — коэффициент, принимаемый по таблице 7.11 СП 24.13330.2021 [4] в зависимости от материала сваи = 1500кН/м<sup>2</sup>;

$A$  — площадь, ограниченная наружным контуром сплошного или полого поперечного сечения ствола сваи (независимо от наличия или отсутствия у сваи острия) = 0,09м<sup>2</sup>;

$M$  — коэффициент, принимаемый при забивке свай молотами ударного действия равным 1,0;

$E_d$  — расчетная энергия удара молота (дизель-молот трубчатый МСДТ1-1250-1 (СП-75), копёр «БМ-811М»), принимаемая по табл. 7.13 СП 24.13330.2011 =  $G \cdot (H - h) = 12,5 \cdot (2,0 - 0,4) = 20,0$ кДж;

$S_a$  — фактический остаточный отказ, равный значению погружения сваи от одного удара молота, м;

$m_1$  — масса молота = 2,7т;

$m_2$  — масса сваи и наголовника = 1,15т + 0,12т = 1,27т;

$m_3$  — масса подбабка = 0т;

$\varepsilon$  — коэффициент восстановления удара; при забивке железобетонных свай молотами ударного действия с применением наголовника с деревянным вкладышем  $\varepsilon^2 = 0,2$ .

Результаты испытаний свай и сведения об испытываемых сваях приведены в сводной таблице № 1.

Таблица 1. Сводная таблица результатов испытаний грунтов сваями динамическими нагрузками

Свая *)
---------

Номер	Сечение (диаметр), мм	Длина (без острия), м	Острие, м	Глубина погружения в грунт, м	Абсолютная отметка головы до испытания, м	Добивка сваи		Расчетная нагрузка по, кН				
						Число ударов		результатам испытаний **)		проекту *)		
						Средний отказ от одного удара, см	Частота дел. соп. прот. (F <sub>u,n</sub> )	расчетная нагрузка (N = F <sub>d</sub> /γ <sub>c,g</sub> )	несущая способность с γ <sub>c,g</sub> = 1.4	Максимальная сжимающая		
											зна	ча
								9	10	1	1	
к	00х	,0	,25	,2	8,12	,03	,04	2175	15	26,6	2	7,8
7к						,06	,08	1519	10			
5к						,06	,06	1764	12			

Примечание:

\*) – данные из журналов полевых испытаний грунтов динамической нагрузкой (приложение Б);

\*\*) - с учетом требований СП 24.13330.2021 [5].

### Выводы

Анализ данных, полученных после динамических испытаний, служит основанием для расчёта несущей способности и позволяет адаптировать строительство к существующим инженерно-геологическим условиям.

По результатам испытаний грунтов сваями № 1к, 37к, 65к динамическими нагрузками значения частного предельного сопротивления свай F<sub>u,n</sub> кН (с учетом требований СП 24.13330.2021 [4]) составляют 1519кН-2175кН.

По результатам испытаний грунтов сваями № 1к, 37к, 65к динамическими нагрузками расчетные нагрузки (с учетом требований СП 24.13330.2021 [4]) с учетом коэффициент надежности по грунту (γ<sub>c,g</sub> = 1.4) составляют 1085кН – 1553кН и удовлетворяют условию (7.2)

СП 24.13330.2021 [4]: 
$$\gamma_n N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}$$
, где N = 97,8кН.

### Библиография

1. ГОСТ 5686-2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями»;
2. ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация»;
3. СП 22.13330.2016. «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений»;
4. СП 24.13330.2021. «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты»;
5. «Отчет о результатах испытаний грунтов сваями динамическими нагрузками ИС-КС.006.3206.000-КЖ1-1к, 37к, 65к».

*Линейные сооружения как индикаторы оползневых деформаций (на примере Печерского Вознесенского монастыря в г. Нижний Новгород)*

*Никушина Т.А.\* (МГРИ, [nikishinata@mgri.ru](mailto:nikishinata@mgri.ru))*

**Аннотация**

Центральная монастырская стена Печерского Вознесенского монастыря в г. Нижний Новгород была построена перпендикулярно бровке древнего оползня, на теле которого и расположился монастырь. Благодаря такому расположению, линейное сооружение является индикатором активизации оползневых деформаций и их интенсивности даже в отсутствие должного геотехнического мониторинга.

**Ключевые слова**

Экзогенный геологический процесс, историческая природно-техническая система, оползневой процесс, сооружение, деформация

**Теория**

Деформации или повреждения линейных объектов, например автомобильных или железных дорог, трубопроводов или линий связи, могут служить важными индикаторами экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, а также свидетельствовать об их активизации или затухании.

При этом исторические природно-технические системы (ИПТС) с длительным сроком эксплуатации, к которым относятся монастырские комплексы, являются свидетелями протекающих на их территории деформаций, вызванных различными процессами.

Вознесенский Печерский мужской монастырь, основанный в 1328 г. в г. Нижний Новгород, в XVI в. был уничтожен оползнем. За неделю до схода оползневого тела в склоне выше обители стала шириться трещина отрыва, длиной почти 1 км. Заблаговременно вся братия и церковная утварь были эвакуированы. Увлажненное грунтовыми водами оползневое тело с треском и грохотом начало оседать вниз, стремительно унося в р. Волгу разрушенные храмы, обители и кельи монастыря [3]. Современный ансамбль монастыря сформировался в XVII–XVIII вв.

В геоморфологическом отношении участок приурочен к прирочной части правого склона долины р. Волги. Склон крутой, обрывистый, высотой 10–13 м. Отметки поверхности изменяются от 106,00 м до 120,00 м в Балтийской системе координат.

Геологический разрез территории монастыря представлен коренными породами, смещенными в результате оползневых процессов, местами сохранившими порядок своего напластования, несколько запрокинутыми в сторону коренного склона. Нижняя часть оползневого тела сложена карбонатно-терригенными отложениями татарского отдела пермской системы (P<sub>3</sub>), средняя часть – глинистыми покровными отложениями верхнечетвертичного возраста (pг Q<sub>III</sub>). На поверхности толщи покровных отложений залегают современные техногенные накопления (t Q<sub>IV</sub>) преимущественно песчано-глинистого состава [3].

На территории Печерского монастыря грунтовые воды приурочены к водоносному горизонту в песчаниках татарского отдела и были вскрыты на глубине 10,5 м. В осенне-весенний период и в случае утечек из коммуникаций на территории монастыря в техногенных грунтах появляется «верховодка» [3].

Как известно, на территориях ИПТС, расположенных на склонах водоразделов, развиваются гравитационные (оползи, осыпи) и эрозионные (речная, овражная и струйчатая эрозия, плоскостной смыл) процессы [2].

По результатам инженерных исследований стен и башен Печерского Вознесенского монастыря сотрудниками ООО ФИРМА «ЭКОТЕХКОНТРОЛЬ» в 2016 г, значительные высота и крутизна Нижегородских склонов, а также наличие в разрезе склона глинистых грунтов и моноклинальные условия их залегания, их физико-механические свойства, наличие глин и глинистых мергелей залегающих в пределах склонов создают условия для возникновения оползневых процессов на Нижегородском склоне на территории Печерского монастыря, а непрерывный эрозионный размыв берегов р. Волгой становится первичной и основной причиной активизации.

По данным научно-проектной документации «Рабочий проект подпорной стенки Вознесенского собора Печерского монастыря» ООО «ВИЛЬЕРМИ» 2007 г., выполненный в районе Печерского монастыря и Н. Волжской набережной в 1960–70 гг. комплекс противооползневых мероприятий, полностью ликвидировавший подмыв берега Волгой, способствовал затуханию оползневого процесса.

Центральная стена Печерского мужского монастыря представляет собой кирпичную кладку из красного кирпича на известковом растворе, в настоящее время отреставрированную и покрытую отделочным штукатурным раствором (рис. 1). Длина стены составляет 75 м, перепад высотных отметок склона на протяжении стены составляет 8,95 м. Точная дата постройки стены неизвестна, т.к. известно, что уже в XVII в. были утрачены некоторые части монастырских стен [4], а в течение последующих столетий проводился ряд строительно-реставрационных работ на отдельных постройках. Центральная стена была сооружена перпендикулярно бровке древнего оползня, на теле которого и расположился монастырь.



Рисунок 1. Центральная монастырская стена Печерского Вознесенского монастыря, вид сверху со стороны р. Волги. 2015 г.

С 2009 по 2020 гг.. на территории Печерского монастыря функционировала система мониторинга, которая включала в себя около 100 геодезических стенных реперов, 2 гидрогеологических скважины, метеостанцию, а также 19 трещинных маяков, три из которых находились на центральной монастырской стене. В 2015, 2019 и 2020 гг. в ходе

рекогносцировочных обследований была произведена фотофиксация трещин в центральной монастырской стене (рис. 2).



Рисунок 2. Трещина в бойнице центральной монастырской стены Печерского Вознесенского монастыря в районе трещинного маяка №11: а) в 2015 г., б) в 2019 г., в) в 2020 г.

По результатам технического мониторинга было установлено, что в северной части центральной стены Печерского монастыря господствовали максимальные отрицательные деформации. Накопленная величина осадки за период 2009–2015 гг. составила 17,5 мм, за период 2009–2017 гг. – 20,0 мм. Максимальная накопленная величина осадки за период 2009–2020 гг. на этом участке составила 25,2 мм, что превышает допустимые 15 мм (в соответствии с п.1 табл. Е1 прил. Е [1]). Относительная разность осадки для центральной монастырской стены составила 0,00036 и не превысила допустимую величину 0,0009.

Трещинный маяк №13, расположенный севернее по стене на 35 м, в 2011 г. был утрачен и восстановлен только в 2014 г. Вертикальные смещения с 2014 по 2020 гг. составили 1 мм. Горизонтальное раскрытие трещины с 2015 г. было постоянным и к 2020 г. достигло 5 мм.

Трещинный маяк №11 с 2010 по 2014 г. зафиксировал существенное вертикальное смещение блоков стены относительно друг друга с амплитудой 15 мм, что совпадает с данными геодезических измерений. Величина горизонтального раскрытия трещины с 2009 по 2020 гг. не превышала 2,5 мм и циклично менялась в течение каждого года.

В 2020–2021 гг., к празднованию 800-летия Нижнего Новгорода, на территории Печерского Вознесенского монастыря был проведен комплекс строительно-реставрационных работ, в результате которого в надлежащий вид были приведены и все монастырские стены [4], «залечены» существовавшие на тот период трещины и уничтожены трещинные маяки. Однако в 2023 г. при рекогносцировочном обследовании на стене обнаружены свежие следы краски, а также в районе трещинного маяка №13 видна волосая трещина.

### Выводы

По результатам геодезического мониторинга на территории Печерского монастыря можно выявить цикличность оползневого процесса, последний цикл затухания выделялся с 2014 г., в связи с чем в 2020 г. было принято решение о прекращении технического

мониторинга за состоянием конструктивных элементов сооружений Печерского Вознесенского монастыря.

Однако «оживление» трещин на инженерном сооружении является подтверждением продолжения деформационных процессов в его конструктивных элементах.

Использование линейных сооружений, например крепостных или монастырских стен, как индикаторов активизации оползневых деформаций и их интенсивности является действенным методом для обеспечения безопасного существования и функционирования ИПТС.

Приведенный пример протекающих на территории Печерского Вознесенского монастыря процессов показывает, что нельзя полностью прекращать технический мониторинг состояний конструктивных элементов сооружений, расположенных на оползневых телах.

### **Благодарности**

Автор выражает искреннюю признательность профессору кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ О.Е. Вязковой за идейную мотивацию и поддержку на протяжении долгих лет научно-исследовательских работ, профессору кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ Дмитриеву В.В. за вдохновение, а также руководителю архитектурно-инженерной группы Единой службы заказчика Свято-Троицкой Сергиевой Лавры С.С. Шмелевой за предоставленные архивные материалы.

### **Библиография**

1. ГОСТ Р 56198–2014 Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники. Общие требования.
2. Вязкова О.Е., Никишина Т.А. К вопросу о влиянии геоморфологических условий на проявление геологических процессов на территориях монастырей Центральной России // Инженерная геология. 2020. Т. 15. № 4. С. 68-80.
3. Никишина Т.А. Мониторинг состояния архитектурных памятников истории и культуры (на примере Вознесенского Печерского монастыря). Материалы XIII общероссийской конференции изыскательских организаций. «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». Г. Москва, 2017. С. 484–490.
4. Шумилкин М.С. Реставрационная практика Вознесенского Печерского монастыря в Нижнем Новгороде // Приволжский научный журнал. 2021. № 3(59). С. 132–136

## *Подсекция 7.2. Геодезия и кадастры*

### *Об использовании аэрофотосъёмки в минерально-сырьевом комплексе*

*Дамрин А. Г. (МГРИ, damrin79@mail.ru)*

#### **Аннотация**

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты активно используются в инженерных изысканиях, в том числе инженерно-геодезических, и во многих других сферах человеческой деятельности, поскольку их технологические преимущества позволяют экономически эффективно, точно и быстро выполнять самые разные виды съёмок на очень больших и зачастую труднодоступных территориях.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали популярными инструментами для различных видов съёмок во многих сферах науки и производства. В том числе они получили широкое применение в геодезии, картографии, горнодобывающей промышленности.

#### **Ключевые слова**

Аэрофотосъёмка, геодезические работы, беспилотные летательные аппараты, цифровая модель рельефа

#### **Теория**

Традиционные методы геодезических исследований по-прежнему остаются востребованными, однако БПЛА позволяют гораздо быстрее собирать качественные данные с использованием новых возможностей для фотограмметрии, 3D-моделирования, топографической съёмки и многого другого. Поэтому сегодня отмечается постоянно растущий спрос на беспилотные технологии [3].

Технологически аэрофотосъёмка с БПЛА производится в несколько этапов: подготовительные камеральные работы и составление лётного задания; маркирование опорных точек на местности и выполнение лётного задания (полевые работы); камеральная обработка полученных материалов [6].

Для получения высокоточных данных, необходима предварительная инструментальная привязка сети опорных точек и закрепление на них опознавательных знаков, которые в идеальном случае представляют собой кресты с обозначенным центром, маркированные на местности.

Перед запуском БПЛА в интерфейсе наземной станции управления (НСУ) задаются: область съёмки, требуемые значения продольного и поперечного перекрытия и высота полета, от которой зависит пространственное разрешение снимков. По указанным параметрам НСУ автоматически создает маршрут, следуя по которому, БПЛА совершает аэрофотосъёмку с фиксацией координат каждой точки фотографирования [2].

Получение качественных результатов фотосъёмки обеспечивается обработкой цифровых снимков в специализированных программах, например Agisoft Metashape, позволяющих существенно упростить и автоматизировать процесс обработки исходных материалов (определение связующих точек на соседних снимках и уравнивание по указанным опорным точкам) [1].

После уравнивания в автоматическом режиме строится плотное облако точек, сравнимое с результатами лазерного сканирования, которое представляет собой точную цифровую модель местности (ЦММ), включающую в себя все объекты, попавшие в поле зрения фотокамеры [3]. Для получения цифровой модели рельефа (ЦМР) необходимо провести фильтрацию плотного облака точек, исключив из него растительность, строения,

автотранспорт. Полученная ЦМР в дальнейшем используется для подсчета объёмов выработки горной породы (Рис. 1).

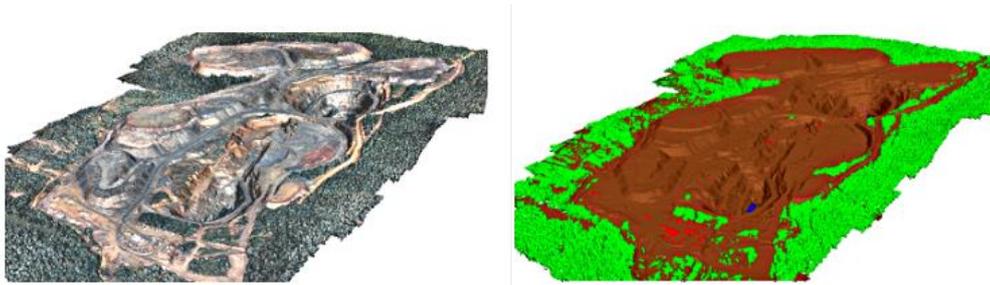


Рисунок 1. ЦМР — результат обработки плотного облака точек

Формат данных, получаемый в результате фотограмметрической обработки, совместим с любыми современными геоинформационными системами (ГИС) и легко конвертируется в требуемый. Детальная модель местности несёт в себе большой объём информации, поэтому дальнейшую её обработку рекомендуется производить в специализированных горно-геологических информационных системах (ГГИС), таких как Micromine, Mineframe, Surpac.

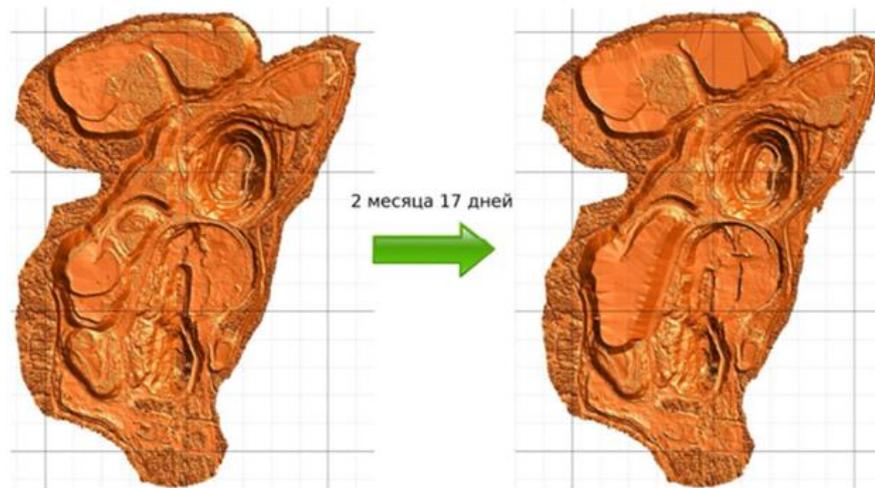
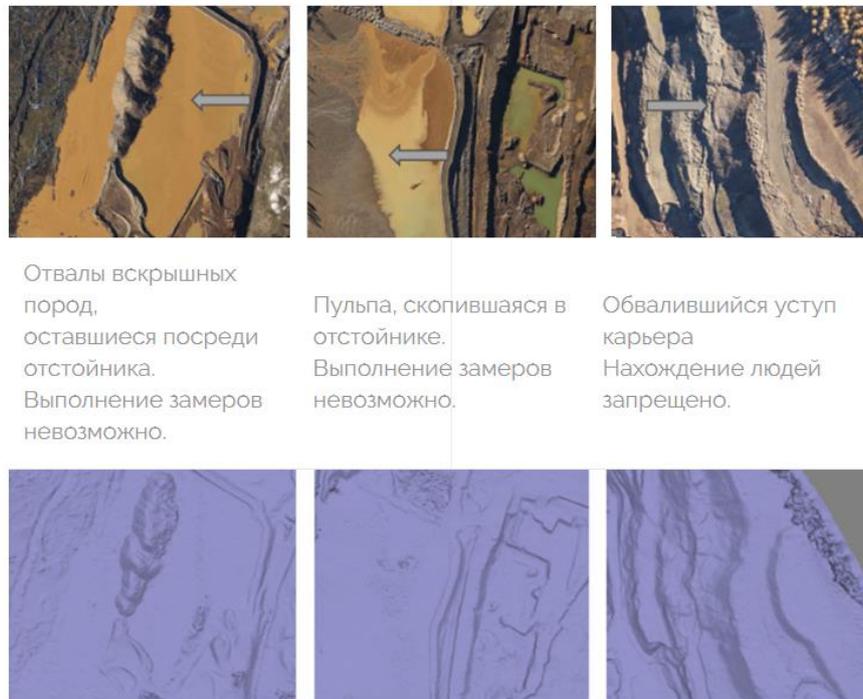


Рисунок 2. Отображение динамики отвалообразования на ЦММ

Опыт работ показывает, что для проведения АФС с целью подсчёта объёмов горной породы на карьере площадью 2 км<sup>2</sup>, потребуется 1 час. Получение ортофотоплана и ЦМР занимает не более 4-х часов автоматической обработки, которую возможно производить в ночное время без участия оператора. Подсчет объёмов горных выработок и отвалов в ПО Micromine [5] заключается в указании контура, внутри которого производилась выемка горной породы и вычитании (сложении) трехмерной модели, полученной при съёмке за предыдущий отчётный период из текущей модели (рис. 2). Автоматизированный подсчет перемещённой горной массы занимает не более 10 минут для одного месторождения. Время полного технологического процесса составляет порядка шести часов для крупного месторождения. Традиционная методика работ, включающая наземную инструментальную съёмку, потребует не менее трёх дней [1].

Кроме того, применение беспилотных летательных аппаратов позволяет выполнять съёмку труднодоступных мест, исключая нахождение в них работников предприятия, и не подвергая их риску для жизни и здоровья (рис. 3).



Отвалы вскрышных пород, оставшиеся посреди отстойника. Выполнение замеров невозможно.

Пульпа, скопившаяся в отстойнике. Выполнение замеров невозможно.

Обвалившийся уступ карьера. Нахождение людей запрещено.

Рисунок 3. Фотоизображения и цифровые модели поверхности труднодоступных и опасных участков, полученные в результате съёмки с БПЛА

Помимо подсчета объёмов и оформления графической документации, по результатам АФС оперативно определяются координаты устьев взрывных и разведочных скважин, расположение всех технических сооружений на территории карьеров (временные балки, ЛЭП и электрические подстанции, насосы, трубопроводы) [4].

Наглядность ортофотоплана и детальность плотного облака точек позволяют использовать полученные материалы не только маркшейдерской, но и геологической службой. По ортофотоплану с высоким разрешением точно и оперативно выявляются зоны трещиноватости на бортах и вблизи карьеров, при наличии маркирующих слоёв ведется их оконтуривание.

По результатам периодической аэрофотосъёмки службой главного инженера может осуществляться контроль за соблюдением техники безопасности и технологии производства работ (рис. 4).

Инструмент «экспозиция» выводит данные о направлении склонов поверхности, классифицируя их на множество направлений (север, северо-восток, северо-северо-восток и другие), а далее производится кластеризация по выбранным значениям. В результате получаем более понятную картину с меньшим количеством классов, и, соответственно, цветов, которая в дальнейшем используется для дальнейшего анализа территории исследования: определение направления водотоков; определение вегетационного индекса (NDVI) – степени развития растительности; влажности в растительности (NDMI); определение температуры поверхности Земли (LST); проведение экстракции данных о высоте, NDVI, NDMI, высоте местности, температуре поверхности Земли, кластеризованной экспозиции, экспозиции в градусах и

процентах уклона поверхности в точки сети; проведение балльной оценки экологического состояния территории.



Рисунок 4. Ортофотоплан участка кучного выщелачивания

### **Выводы**

Обобщая опыт применения БПЛА при геодезических работах проводимых на объектах минерально-сырьевого комплекса, можно утверждать, что БПЛА позволяет оперативно и с высокой точностью производить картирование и мониторинг объектов горного предприятия, решать широкий спектр горнотехнических задач, включающий в себя подсчёт объёмов горных выработок, отвалов, хвостохранилищ, построение разрезов, поиск зон трещиноватости, привязка скважин и т.д.

### **Библиография**

1. Беспилотные летательные аппараты для решения задач маркшейдерии и мониторинга открытых горных работ // Автономные аэрокосмические системы URL: <https://uav-siberia.com/> (дата обращения: 20.04.2023).
2. Овчинникова, Н.Г. Применение беспилотных летательных аппаратов для ведения землеустройства, кадастра и градостроительства / Овчинникова Н.Г., Медведков Д.А. // Экономика и экология территориальных образований. – 2019. – Т.3, №1. – С. 98-108.
3. Пример использования геодезического дрона для контроля эффективности работ в золоторудном карьере // Геоинфо. – 2015
4. Фёдорова А.Р. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в инженерных изысканиях / Фёдорова А.Р., Дамрин А.Г. // Молодые - Научкам о Земле – М. 2024. - С. 102-105.
5. Флотский И.А., Дамрин А.Г. Оценка современного программного обеспечения в целях оптимизации геодезических работ / Флотский И.А., Дамрин А.Г. // Молодые - Научкам о Земле – М. 2024. - С. 110-113.
6. Шаповалов Д.А. Методы дистанционного зондирования и космическая навигация в технологиях точного земледелия / Шаповалов Д. А., Черкашина Е. В. [и др.] – М: ГУЗ. 2022 - 423 с.

*Оценка экологического состояния земель на основе данных ДЗЗ*

*Лепехин П.П.\* (Государственный университет по землеустройству,  
shampolamo@gmail.com),*

*Мурашева А.А. (Государственный университет по землеустройству,  
atur.2gis@gmail.com),*

*Окаёмова Е.С. (Государственный университет по землеустройству,  
katyaokayhi@gmail.com)*

**Аннотация**

Исследование механизма взаимодействия между ландшафтом, землепользованием и растительным покровом стало важной научной темой изменения окружающей среды на поверхности земли.

Оценка экологической безопасности является основой управления и предотвращения негативного изменения региональной экологической среды, а также компонентом устойчивого развития территорий, поскольку в процессе изменения ландшафтного рисунка учитываются комплексно экологические риски и уязвимости природного, экономического и социального уровней.

В настоящее время все больше и больше внимания уделяется методам анализа тенденций изменения, уязвимости, чувствительности и неоднородности ландшафтного рисунка, таким как индекс ландшафтного узора, эффект размера частиц и алгоритм пространственной статистики с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

**Ключевые слова**

Ландшафт, землепользование, экология, устойчивость, экосистема, алгоритм, зондирование Земли

**Теория**

По оценкам ученых к 2050 году численность населения мира достигнет примерно десяти миллиардов человек и этот фактор в сочетании с растущим средним классом окажет большое давление на окружающую природную среду.

При увеличении хозяйственной деятельности на землях увеличивается нагрузка на природные территории, а также на почвенные, водные и лесные ресурсы в результате сельскохозяйственного и городского развития, увеличения добычи полезных ископаемых, в том числе это - вырубка лесов, деградация плодородных земель, осушение водно-болотных угодий, увеличение использования пресной воды и многое другое (USAID 2012; Всемирный банк 2017). Поэтому в будущем при росте хозяйственной деятельности должны быть приняты меры по смягчению и обращению вспять этих воздействий на природную среду и ее ресурсы. Это предполагает оптимизацию использования земельных и водных ресурсов, что важно, поскольку естественные территории, такие как водно-болотные угодья и леса, предоставляют множество ценных экосистемных услуг, которые приносят пользу людям (RAMSAR 2018; Masiero et al. 2019). Кроме того, во всем мире растет дефицит пресной воды, загрязнение воды и засоление почв, в первую очередь из-за деятельности человека. Таким образом устойчивое использование земель, водных и других ресурсов имеет важное значение (ФАО, 2011).

Изменение землепользования и растительного покрова является ключевым моментом в исследованиях состояния земель и становится преимуществом и горячей точкой для исследований экологических изменений окружающей среды и устойчивого развития территорий. Исследование механизма взаимодействия между ландшафтом, землепользованием и растительным покровом стало важной научной темой изменения

окружающей среды на поверхности Земли. Оценка экологической безопасности является основой управления и предотвращения негативного изменения региональной экологической среды.

В настоящее время все больше и больше внимания уделяется методам анализа тенденций изменения, уязвимости, чувствительности и неоднородности ландшафтного рисунка, таким как индекс ландшафтного узора, эффект размера частиц и алгоритм пространственной статистики с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В целом алгоритм оценки экологического состояния окружающей среды с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно представить в виде следующей блок-схемы (рис. 1).

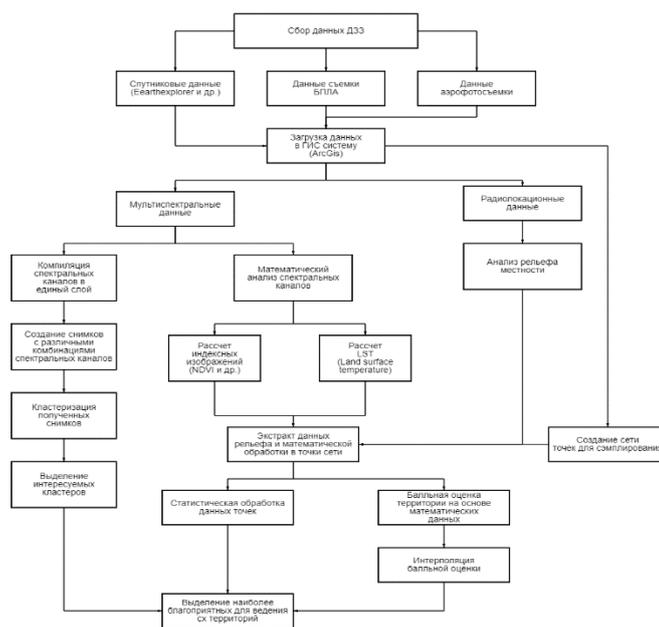


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма анализа территории с использованием данных ДЗЗ

На данной схеме можно увидеть, что в методике используются данные ДЗЗ, включая мультиспектральную съемку и радиолокационную съемку для математического и географического анализа территории средствами ГИС-систем.

Технологии дистанционного зондирования Земли из космоса — незаменимый инструмент изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, помогающий эффективно использовать и управлять ее ресурсами. Современные технологии ДЗЗ находят применение практически во всех сферах нашей жизни.

Дистанционное зондирование — это процесс обнаружения и мониторинга физических характеристик местности, объектов на ней путём измерения её отражённого и излучаемого излучения на расстоянии. Специальные камеры-сенсоры собирают изображения дистанционного зондирования в широком электромагнитном диапазоне спектра, с обзорными и детальными характеристиками, во временном ряду, которые помогают исследователям анализировать ситуацию на Земле. Таким образом для оценки экологического состояния земель в первую очередь нужно собрать необходимые для этого данные дистанционного зондирования Земли.

Далее собранные данные обрабатывают в геоинформационной системе, например ArcGIS, и в итоге создается конечный продукт — тематическая карта на исследуемую территорию. Одним из источников подобных данных является интернет-сервис EarthExplorer.

Из него можно получить данные съемки различных спутников, в том числе Landsat и SRTM, которые будут использованы в дальнейшей работе. Для анализа рельефа территории могут быть использована съемка SRTM.

Shuttle radar topographic mission (SRTM) — Радарная топографическая съемка большей части территории земного шара, за исключением самых северных (>60), самых южных широт (>54), а также океанов, произведенная с помощью специальной радарной системы. Радиолокационные данные С-диапазона использовались для создания почти глобальных топографических карт Земли, называемых цифровыми моделями рельефа (DEM). Данные радара X-диапазона используются для создания ЦМР несколько более высокого разрешения, но без глобального покрытия радара С-диапазона. Два набора радиолокационных данных объединяются для создания интерферограмматических карт сканируемых территорий. Таким образом, скачанная съемка SRTM далее подгружается в ArcGis. Результирующие данные соответствуют спецификации интерферометрических данных о рельефе (Interferometric Terrain Height Data (ITHD)-2). А именно, размер элемента матрицы пикселей 30x30 метров.

Для дальнейшего анализа рельефа территории необходимо полученную матрицу пикселей конвертировать в математическую поверхность. Для этого в первую очередь в каждом пикселе матрицы проставляется точка, в которую переносятся данные о высоте пикселя (рис. 2а). После чего данные точек интерполируются Сплайн-методом для заполнения пустующих данных о высотах между точками с целью создания математической поверхности. Сплайн-метод использует метод интерполяции, который оценивает значения с помощью математической функции, минимизирующей общую кривизну поверхности, в результате чего получается гладкая поверхность, проходящая точно через входные точки (рис. 2б).

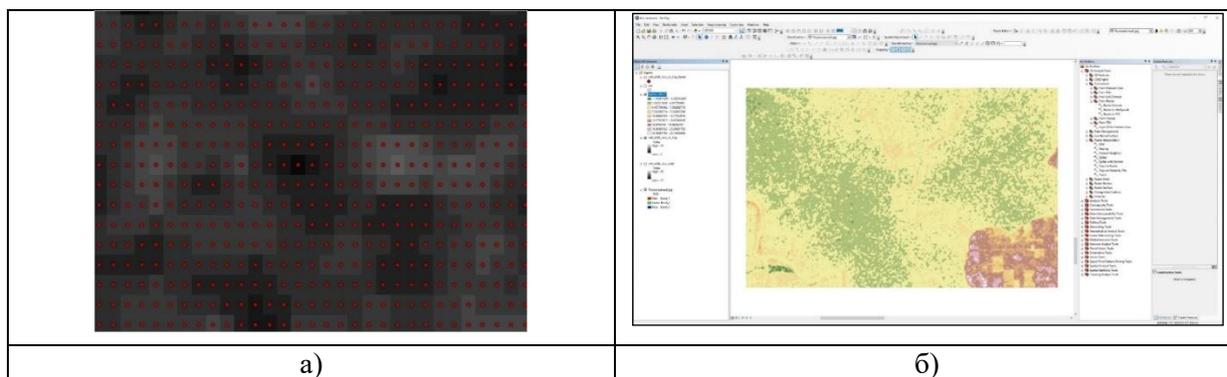


Рисунок 2. Сеть точек в матрице пикселей

Далее с помощью полученной математической поверхности получаем данные об экспозиции исследуемой территории. Инструмент «экспозиция» идентифицирует направление спуска по склону. Значения всех ячеек выходного растра указывают компасное направление, к которому обращена поверхность в этом местоположении. Оно измеряется по часовой стрелке в градусах от 0 (север) до 360 (снова север), проходя полный круг. Плоским областям, не имеющим направления вниз по склону, дается значение -1.

Инструмент «экспозиция» выводит данные о направлении склонов поверхности, классифицируя их на множество направлений (север, северо-восток, северо-северо-восток и другие), а далее производится кластеризация по выбранным значениям. В результате получаем более понятную картину с меньшим количеством классов, и, соответственно, цветов, которая в дальнейшем используется для дальнейшего анализа территории исследования: определение направления водотоков; определение вегетационного индекса (NDVI) – степени развития растительности; влажности в растительности (NDMI); определение температуры поверхности

Земли (LST); проведение экстракции данных о высоте, NDVI, NDMI, высоте местности, температуре поверхности Земли, кластеризованной экспозиции, экспозиции в градусах и процентах уклона поверхности в точки сети; проведение балльной оценки экологического состояния территории.

### **Выводы**

На основе проведенных исследований проведена разработка, теоретическое обоснование и апробация ряда методик и алгоритмов использования мультиспектральной съемки в целях экологического мониторинга земель, определения их состояния с использованием технологий дистанционного зондирования Земли.

К информационному обеспечению мониторинга земель относятся: цифровая карта наблюдаемой территории, атрибутивная база результатов наблюдений в том числе набор индексных изображений, цифровая модель рельефа местности и цифровая модель уровня грунтовых вод, способы геоинформационной обработки данных.

При использовании предлагаемого программно-аппаратного комплекса получаем ЦМР соответствующей точности топографического плана масштаба 1:500. Данный масштаб достаточен для разработки рабочих проектов по охране земель. При этом в качестве данных планово-высотной подготовки используются только координаты точек фотографирования, полученные в результате спутниковых определений бортовым ГНСС-приёмником. Таким образом, минимизируются объёмы полевых работ по планово-высотной подготовке снимков. При этом расходы на получение выходной топографической информации уменьшаются в 2–4 раза в сравнении с традиционной наземной геодезической съёмкой.

### **Библиография**

1. Лепехин, П.П. Формирование информационной модели управления твёрдыми бытовыми отходами / А.А. Мурашева, П.П. Лепехин, Е.В. Тетерюков// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. - 2014.- №. 10 (118). - С. 45-50.
2. Лепехин, П.П. Информационно-моделирующая система для решения региональных экологических проблем / А.А. Мурашева, П.П. Лепехин // Науки о Земле. - 2015. - № 1. - С. 24-32.
3. Лепехин, П.П. Комплексный мониторинг земель объектов Сахалинского: дисс. канд. географ. наук// П.П. Лепехин.-М.: ГУЗ.2018-188 с.
4. Лепехин, П.П. Развитие научных положений информационного обеспечения мониторинга нефтегазовых комплексов / А.А. Мурашева, П.П. Лепехин // Международная научная конференция: Научные достижения. – МДК-2016-01 – Науки о Земле [Электронный ресурс]. - <http://books.eescience.ru/downloads/nauchnye-dostizhenija>.
5. Лепехин, П.П. Геоинформационные системы как инструментальный накопления и обработки информации мониторинга мелиорируемых агроландшафтов / П. П. Лепехин, Н. Н. Алиев // Сибирская деревня: 200 лет развития Омской области - от реформ М.М. Сперанского до агропромышленного центра Сибири: Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 200-летию Омской области.

## *Геодезические методы мониторинга экзогенных геологических процессов*

*Пономарев А.А.\* (ФГБУ «Гидроспецгеология», nyvelir22@gmail.com)*

### **Аннотация**

Доклад посвящен геодезическим методам мониторинга таких экзогенных геологических процессов (ЭГП), как оползни, суффозии, эрозии и др. Благодаря этим методам можно получить точные данные о деформациях земной поверхности, что позволяет своевременно выявить опасные процессы и принять меры по предотвращению их негативных последствий.

Также проведены анализ и сравнение методов мониторинга с точки зрения их эффективности и стоимости выполнения работ.

### **Ключевые слова**

Экзогенные геологические процессы, мониторинг, стереофотограмметрия, лазерное сканирование, беспилотные авиационные системы

### **Источники финансирования**

Отсутствуют

### **Теория**

Актуальность темы: экзогенные геологические процессы представляют серьёзную угрозу для безопасности и экономики. Благодаря геодезическим наблюдениям можно эффективно проводить мониторинг, а также своевременно прогнозировать ЭГП.

Цель работы: описать существующие современные геодезические методы мониторинга экзогенных процессов с учетом их преимуществ и недостатков.

Научная новизна: разработка новых методик для дальнейшего анализа экзогенных геологических процессов с использованием технологий ГНСС, лазерных сканеров и беспилотных авиационных систем (БАС).

Современные методы исследования:

- лазерное сканирование (метод позволяет создать 3D-модель объекта);
- стереофотограмметрия и съемка с помощью БАС (данные методы позволяют получать изображения поверхности в 3D-формате);
- геодезические наблюдения за ЭГП с помощью тахеометров, нивелиров и ГНСС (данные наблюдения основаны на измерении углов, превышений, расстояний и геодезических координат точек).

### **Лазерное сканирование**

Лазерное сканирование (ЛС) представляет собой технологию измерения времени, за которое лазерный импульс достигает поверхности объекта и возвращается обратно. Лазерное сканирование подразделяется на три вида:

- воздушное (позволяет эффективно обследовать крупные территории);
- наземное (применяется для детального обследования объектов);
- мобильное (выполняется с наземного или водного носителя в непрерывном режиме).

Пример изображения, полученного с помощью лазерного сканера, представлен на рисунке 1.

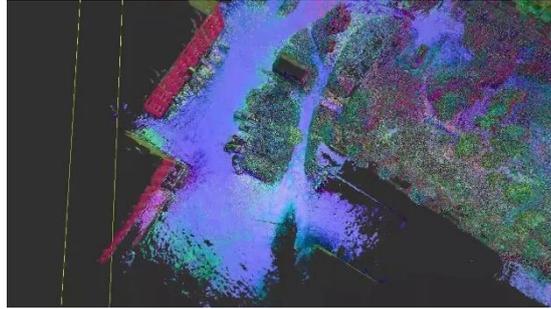


Рисунок 1. Получение изображения объектов с помощью лазерного сканера

Ниже приведены преимущества и недостатки метода воздушного лазерного сканирования.

Преимущества лазерного сканирования:

- высокая детальность получаемой информации о рельефе;
- возможность снимать местность под кронами деревьев;
- наличие режима автоматизации при создании ЦМР и ортофотоплана.

Недостатки воздушного лазерного сканирования:

- достаточно высокая стоимость оборудования для проведения работ;
- зависимость от метеорологических условий;
- сроки получения разрешения на производство работ (до 2,5 месяцев).

### **Стереофотограмметрия и съемка с помощью БАС**

Стереофотограмметрию и съемку с помощью БАС объединяет использование фотограмметрических методов для обработки данных, однако между ними есть различия.

Метод стереофотограмметрии основан на использовании двух или более фотографий для создания 3D-моделей. С помощью этого можно улучшить точность и детализацию моделей, однако это требует более сложной обработки данных и специальных программных средств.

Стереофотограмметрическая съемка включает в себя следующие этапы:

- получение снимка местности;
- геодезическое определение координат опорных точек;
- фотограмметрическое сгущение сети точек;
- стереоскопическая съёмка рельефа и контуров по аэрофотоснимкам;
- составление топографической карты (плана).

Съемка с помощью БАС является актуальным методом для изучения ЭГП, так как можно оперативно получать представление о состоянии и виде изучаемого объекта, а также материалы для дальнейшего анализа, например, цифровую модель рельефа (ЦМР). Стоит отметить, что БАС предполагает создание изображения на основе фотограмметрических программных пакетов.

Основной принцип методики заключается в фотосъемке исследуемого объекта с использованием беспилотного летательного аппарата (БЛА) по заданному криволинейному маршруту, показанному на рисунке 2.

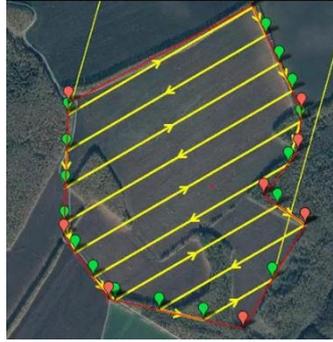


Рисунок 2. Маршрут для съемки с помощью БАС

Ниже приведены преимущества и недостатки съемки с помощью БАС.

Преимущества метода стереофотограмметрии:

- получение детальных данных о форме и размерах изучаемых объектов;
- проведение наблюдений за опасными геологическими процессами в реальном времени.

Недостатки метода стереофотограмметрии:

- ограничения в применении для объектов, находящихся в труднодоступных или опасных местах;
- зависимость от условий съемки.

Преимущества съемки с помощью БАС:

- экономичность;
- высокое качество аэрофотоснимков;
- большие возможности программного обеспечения в плане построения маршрута залета в режиме мониторинга;

Недостатки съемки с помощью БАС:

- при неблагоприятных погодных условиях эффективность БАС снижается в разы;
- уязвимость каналов связи (их можно глушить, перехватывать);
- высокая стоимость выполнения работ;

Оба метода дают хорошие результаты при наличии ГНСС-приемника и базовой станции.

### **Геодезические наблюдения за ЭГП с помощью тахеометров, нивелиров и ГНСС**

Съемка экзогенных геологических процессов с помощью тахеометров, нивелиров и ГНСС состоит из следующих этапов:

- определение координат пунктов (проводятся наземные измерения с помощью тахеометров и нивелиров, прокладываются полигонометрические ходы с уравниванием полученных данных);
- определение позиционирования точек на местности (используется гнсс-оборудование, определяющее координаты с помощью систем GPS, ГЛОНАСС и др.);
- мониторинг деформационных процессов (определяются участки, подверженные наибольшим отклонениям от первоначального положения).

Преимущества геодезических наблюдений за ЭГП с помощью тахеометров, нивелиров, ГНСС:

- возможность получения результатов в режиме реального времени;

- широкий охват территорий во время проведения съемки;
- автоматизация измерений;

Недостатки геодезических наблюдений за ЭГП с помощью тахеометров, нивелиров и ГНСС:

- значительные временные и физические затраты;
- высокие требования к прямой видимости с точки на точку.

#### **Результаты исследования**

В данной работе были представлены основные геодезические методы наблюдения за экзогенными геологическими процессами, имеющие свои преимущества и недостатки.

#### **Выводы**

От того, какой характер возникновения имеет тот или иной ЭГП, зависит выбор метода наблюдений за ним. Наиболее универсальным среди описанных методов является лазерное сканирование, поскольку время на выполнение съемки минимально, и информативность в определении данных с труднодоступных мест большая. Однако стоит помнить, что стоимость проведения работ с помощью лазерного сканера довольно высокая.

#### **Благодарности (на ваше усмотрение)**

Выражаю благодарность научному коллективу за предоставленные материалы!

#### **Библиография**

1. Воскресенский И.С., Сократов С.А., Сучилин А.А., Шныпарков А.Л., Ушакова Л.А. Полевое картографирование оползневых и селевых склонов с применением ГНСС и БЛА хребта Аибга в районе Красной поляны//Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации.2021. С.153-160.
2. Борейша Е.В., Ранов И.И. Сравнительная оценка современных геодезических методов, применимых для мониторинга состояния поверхностных карстовых проявлений//Вестник евразийской науки. Т.15. №5. 2023. С.1-18.
3. Баборькин М.Ю., Бурцев А.А. Концепция проведения мониторинга опасных геологических процессов и явлений на основе воздушного лазерного сканирования//Наука и мир. №9-1 (49). 2017. С.78-84.
4. Архипова М.В., Викторов А.С., Орлов Т.В., Казеев А.И., Капралова В.Н., Трапезникова О.Н. Использование аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования для выявления динамики экзогенных процессов как базы для оценки опасности//Геоморфология. №1. 2020. С.34-48.

*Геодезические работы для комплексного благоустройства территории строящейся школы г. Раменского Московской области*

*Федорова А.Р.\* (МГРИ, [angelinka.fedorova.02@mail.ru](mailto:angelinka.fedorova.02@mail.ru)),  
Дамрин А.Г (МГРИ, [damrin79@mail.ru](mailto:damrin79@mail.ru))*

**Аннотация**

Геодезические работы играют важную роль при выполнении благоустройства придворовых территорий, особенно когда речь идет о строительстве образовательных учреждений. Они обеспечивают точные данные о местоположении объектов инфраструктуры и их конфигурации, высотных отметках, что является основой для проектирования, строительства и благоустройства придворовых территорий. В настоящей работе рассматриваются основные виды геодезических изысканий, их значимость и этапы выполнения в процессе благоустройства территории строящейся школы г. Раменского Московской области

**Ключевые слова**

Геодезические работы, благоустройство, вертикальная планировка, исполнительная съемка

**Теория**

В условиях постоянного увеличения числа новых жилых комплексов в современных городах остро возникла необходимость в строительстве объектов социальной инфраструктуры, в том числе образовательных учреждений. Благоустройство территории вокруг учебных заведений требует тщательного планирования и профессионального подхода для создания функциональных пространств, включающих детские и спортивные площадки, беговые дорожки и футбольные поля, газоны, подъездные пути и т. д. Основой для успешной реализации подобных проектов является выполнение геодезических работ. На начальном этапе выполняется топографическая съемка придворовой территории, что позволяет получить детальную информацию о рельефе и существующих объектах. На основе собранных данных разрабатывается проект, в котором учитывается точное размещение всех элементов благоустройства. Заключительным этапом являются разбивочные работы, выполнение которых позволяет гарантировать соответствие проектных решений реальным условиям местности [2].

В данной работе нами рассматриваются вопросы геодезического сопровождения при благоустройстве территории школы в г. Раменском.

Для успешного выполнения поставленных задач нами выполнены следующие ключевые этапы:

- проведены анализ проектной документации и рекогносцировка и местности для получения актуальной информации об участке работ;
- составлен план геодезических работ, необходимый для организации работ;
- разработана серия разбивочных чертежей, которые включали обозначения высотных и плановых точек для выноса в натуру, в строгом соответствии с проектной вертикальной планировкой.

Одной из задач стояло выполнение разбивочных работ. Для выполнения выноса в натуру проекта, от точки с уже известными координатами N-1 (на объекте было 4 твердых точки в грунте, закрепленных металлическими уголками), был проложен замкнутый теодолитный ход, с целью определения координат точек, необходимых для корректной работы на всей строительной площадке. Для этого заранее по строительной площадке были расклеены отражатели и последовательно подписаны для упрощения работы (Рис. 1). Пленочные

отражатели, используемые при выполнении геодезических работ, представляют собой специально размеченную самоклеящуюся пленку со световозвращающей поверхностью, применяется для работы с любыми типами электронных тахеометров и лазерных дальномеров. Применение таких отражателей повышает точность измерений и упрощает процесс выноса в натуру [4].



Рисунок 1. Элемент теодолитного хода с пленочным отражателем

После завершения работы по сгущению внутриплощадочной геодезической сети, была произведена обработка и уравнивание хода в программе CredoDat. Точки теодолитного хода были загружены в программу [5].

При обработке материалов репер N-1 стала исходной для данного теодолитного хода. Использовалась система координат МСК-50, система высот – Балтийская. Далее используя команду «Предобработка» программа автоматически рассчитала «грубые» координаты определяемых точек, затем с использованием команды «Анализ» появились невязки, и с помощью команды «Уравнивание» произвелось уравнивание точек хода между собой, в результате чего были получены координаты необходимых точек и загружены в прибор для дальнейшей работы. Далее выполнялась обратная засечка и определялись необходимые точки на местности. Так выполнялся вынос в натуру границ дорог, тротуаров, игровых и спортивных площадок для монтажа бортовых камней, поворотных точек забота и т. д.

Важной задачей геодезистов является выполнение исполнительной съемки, целью которой является выявление отклонения возводимых конструкций от проектных значений. Данный вид геодезических работ является контрольным и проводится на каждом этапе строительства [1].

Для выполнения исполнительной съемки в начале также выполнялась обратная засечка, далее проводилась съемка проверяемого участка работ.

После исполнительной съемки выполняется камеральная обработка и оформление исполнительной схемы. В данном случае использовалась программа AutoCad (Рисунок 2). В начале выгружаются точки снятого объекта в программу, а далее строится чертеж, в котором указываются отклонения от проектных отметок, если они есть.

При благоустройстве территории отклонения от проектных размеров не должны превышать  $\pm 5$  мм. Приемка ограждений должна осуществляться путем проверки их

прямолинейности и вертикальности. Не допускаются отклонения в положении всей ограды и отдельных ее элементов в плане, по вертикали и по горизонтали более чем на 20 мм [3].

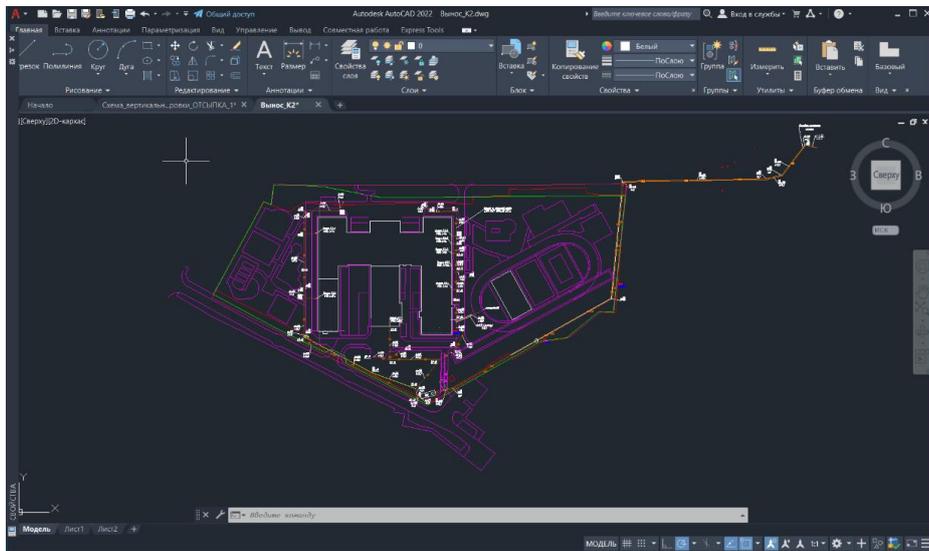


Рисунок 2. Процесс обработки измерений в AutoCad

Заключительным этапом геодезических изысканий было вычисление объемов и площадей выполненных работ (Рисунок 3). Расчётные площади по объектам инфраструктуры благоустройства составили: Объем выполненных работ:

- Газон посевной - 11 684 м<sup>2</sup>;
- Асфальтобетон 1 слой (6см) - 7652.3 м<sup>2</sup>;
- Асфальтобетон 2 слоя (1 слой - 5см, 2 слой - 7см) - 1825.1 м<sup>2</sup>;
- Каучуковое покрытие - 5905 м<sup>2</sup>;
- Георешетка - 747.8 м<sup>2</sup>;
- Плитка бетонная - 892.6 м<sup>2</sup>;
- Бордюр садовый - 3238.7 м;
- Бордюр дорожный - 181.9 м;
- Смесь песка и антисептированных опилок - 19.2 м<sup>2</sup>;
- Лоток водоотводящий - 193.3 м;
- Гравий фракции 3-10мм - 154.5 м<sup>2</sup>;



***Разработка и апробация инновационных методов сбора (цифровизации) и обработки информации для целей современного землеустройства***

***Широков Р.С. (МГРИ, shirokovrs@mgru.ru)***

**Аннотация**

Ожидаемые изменения в земельном законодательстве требуют адаптировать - содержание, цель и задачи землеустройства к предстоящим изменениям, которые существенно ограничивают функции (мероприятия), проводимые ранее в рамках землеустройства, и снижают его роль в сельскохозяйственном производстве. В статье показаны современные возможности (методы и технологии) сбора, обработки и использования геоэкологической информации, полнота и ценность которой и обеспечит, ключевую роль землеустройства (как минимум на сельскохозяйственных землях) на ближайшее будущее, а с другой стороны, - фундаментальные изменения в содержании и методах проведения землеустроительных мероприятий и проектных землеустроительных работ.

**Ключевые слова**

Аэрофотосъёмка, геодезические работы, беспилотные летательные аппараты, цифровая модель рельефа

**Теория**

Специалисты различных областей научного знания уделяют большое внимание рассмотрению перспективы развития человеческого общества и образов хозяйствования. Одной из характерных тенденций, определяющих будущее, они выделяют рост значения городов, обретение ими политической субъектности и постепенное наращивание влияния на социально-экономические, информационно-культурные и технико-методические процессы.

В современном мире очевидно, что именно города являются драйверами большей части инноваций социально-экономического характера. Вместе с тем, бурное развитие городов порождает и множество различных проблем: увеличение нагрузки на инфраструктуру, устаревание планировочных решений, обострение транспортных проблем, возрастающая экологическая нагрузка, утрата горожанами собственной идентичности и т. д. [3]

«Одной из наиболее распространенных в настоящее время концепций, в которой находят свое отражение представления о будущем городов и способах решения их проблем, является концепция «умного города» [6].

Данная работа в основном рассматривает вопросы технологий пространственного 3D моделирования городской среды и касается экономико-юридического аспекта управления ресурсами в городе соответственно внутренней логике работы. Таким образом, в рамках этой концепции городскими ресурсами признаются не только земельные участки или объекты капитального строительства (ОКС), но и совокупность прав, обязанностей и ответственности вместе с показателями экономико-хозяйственной ценности объектов [2].

В мировой практике большинство действующих систем учета и управления земельными ресурсами основаны на 2D способе представления данных и не в состоянии приспособиться к разнообразию сложных ситуаций, вызванных реалиями современного мира. Все уровни власти сталкиваются с беспрецедентным требованием использования пространства над и под земной поверхностью [4].

Таким образом сформировался общественно-практический и научно-методический запрос на разработку технологии, которая могла бы учитывать все многообразие объектов и ситуаций с городскими ресурсами, при этом адекватно предоставляя точную геоинформационную картографическую базу территории изучения. Опираясь на

международный опыт и отечественные разработки авторским коллективом была создана универсальная технология, объединяющая аэрофотосъемку с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземное лазерное сканирование с применением самых современных методик обработки совокупных результатов. Такая технология позволяет в автоматизированном или полуавтоматическом режимах получать трехмерные модели городского пространства и объектов для целей эффективного управления и рационального использования. Также позволяет значительно повысить детальность и достоверность информационного обеспечения всей системы городских баз данных, путем интеграции 3D моделей и BIM-моделей [1].

В качестве демонстрационных объектов для реализации предлагаемой универсальной технологии были выбраны два земельных участка: главное здание Государственного университета по землеустройству; склад сыпучих тел, поселок Вешки, Мытищинский район.

Процесс сканирования выполнялся сканером Liеса BLK 360 с точностью определения местоположения трехмерных точек 6мм на расстоянии 10м от сканера до объекта. Плотность сканирования равна 10мм. Полевой этап потребовал 10 полных рабочих дней, примерно 150 связующих настенных марок, за это время было выполнено сканирование с 150 станций. Этап регистрации сканов в единое облако точек осуществлялось на основе марок (распечатанные марки на А4), которые были размещены на разных местах и с помощью характерных точек объектов окружения. Процесс регистрации сканов выполнен с точностью > 6мм для 98,4% сканируемых точек (допустимая точность: точность > 6мм для 90% сканируемых точек как минимум) (рис.1).

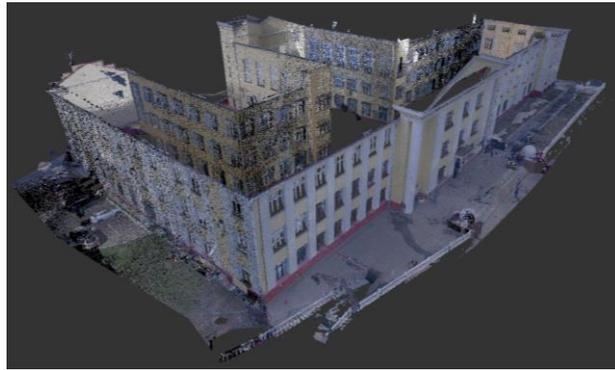


Рисунок 1. Облако точек всего здания ГУЗ

После регистрации всех станций и частичной сегментации растительности и других объектов окружения из Rescar в формате e57 облако было выгружено для объединения с результатами АФС. В ПО CloudCompare облако НЛС пересохранено в las с изменением системы координат на локальную [1].

В подходящее для выполнения аэросъемки с БПЛА время была выполнена аэрофотосъемка по площадному маршруту с использованием дрона квадрокоптерного типа DJI Phantom 4 PRO. По результатам съемки, состоящей из 380 снимков в ПО Agisoft Matashape были построены: разреженное облако точек, карты глубин и с использованием агрессивной фильтрации создано плотное облако точек и фотограмметрическая модель главного здания ГУЗ [2].

В открытом ПО CloudCompare загружены облака НЛС и БПЛА в форматах Las, проведена фильтрация шумов, упрощение облаков точек в несколько раз ввиду технических ограничений при обработке больших объемов (рис. 2).

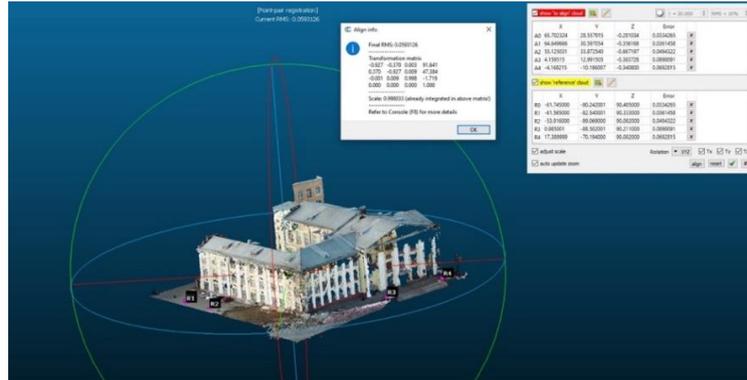


Рисунок 2. Результат совмещения двух облаков по 5 характерным точкам

Второй демонстрационный объект представляет собой склад открытого хранения. Согласно описанной выше методике, выполнялось фотографирование и сканирование объекта. В качестве беспилотного летательного аппарата использовался Phantom 4 Advanced со встроенной камерой.



Рисунок 3. Фрагмент плотного облака, полученного в результате обработки аэрофотосъемки с БПЛА



Рисунок 4. Результат вычисления объемов буртов (в м<sup>3</sup>)

Обрабатывались полученные данные с целью создания плотного облака точек в программе Agisoft Metashape. Поскольку главной задаче обработки проекта было получение наиболее репрезентативной информации по объемам хранения сыпучих материалов,

построение плотного облака производилось на очень высоких настройках качества с мягкой фильтрацией карт глубин. Полная обработка проекта заняла 5 часов. Сканирование выполнялось наземным лазерным сканером Leica BLK360. При сканировании использовались марки. На рисунке 4 представлены результаты АФС, загруженные в ПО CloudCompaire [2].

### **Выводы**

Окончательным результатом в двух продемонстрированных случаях являются трехмерные модели пространства, подходящие для представления в любых современных программных комплексах геоинформационных систем (ArcGIS, Qgis, Infracore и др.), а также в системах BIM-проектирования (ArchiCAD, Revit и др.). Что делает технологию сбора трехмерной геопространственной информации универсальной с точки зрения применимости и разнообразия охватываемых объектов и ситуаций. Предоставляемые материалы при реализации универсальной технологии обладают высокой точностью, детальностью и безграничным потенциалом для проектирования и повторного использования, уменьшая затраты на последующие полевые работы. Применение данной технологии способно значительно сократить затраты на согласование разнородных данных при этом выдерживая точностные характеристики и позволяя вывести принимаемые проектные и управленческие решения на качественно новый уровень эффективности и рациональности.

### **Библиография**

1. Arroyo Ohori K. Modeling Cities and Landscapes in 3D with CityGML / Arroyo Ohori K., Biljecki F., Kavisha K., Ledoux H., Stoter J. // Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice. 2018. - С. 199-215.
2. Лепехин, П. П. Экологический мониторинг / Лепехин П. П., Широков Р. С. – М.: ГУЗ, 2024. – 115 с.
3. Мулин М.О. Цифровые технологии в сельском хозяйстве Российской Федерации // Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы. Материалы Международной научно-практической конференции - М.: ГУЗ, 2022. - С. 499-503.
4. Шаповалов Д. А. Аналитический обзор развития многомерных систем учета и регистрации прав и объектов недвижимости в парадигме «умного города» / Шаповалов Д. А., Бегляров Н. С. // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – № 3. – С. 185–192.
5. Шаповалов Д.А. Методы дистанционного зондирования и космическая навигация в технологиях точного земледелия / Шаповалов Д. А., Черкашина Е. В. [и др.] – М.: ГУЗ. 2022 - 423 с.

*Анализ космических снимков с целью определения динамики прибрежно-морской области*

*Широков Р.С.\* (МГРИ, [shirokovrs@mgi.ru](mailto:shirokovrs@mgi.ru)),  
Флотский И.А. (МГРИ, [ivanflotsky.11@gmail.com](mailto:ivanflotsky.11@gmail.com))*

**Аннотация**

Прибрежно-морские области являются критически важными экосистемами, подверженными воздействию природных и антропогенных факторов. В статье представлен метод анализа динамики этих областей на основе обработки космических снимков с применением спектральных индексов. Рассматривается алгоритм предварительной обработки данных, включая атмосферную и геометрическую коррекцию, а также использование индексов MNDWI и NDVI для выделения ключевых параметров. Результаты демонстрируют эффективность подхода на примере мониторинга береговой.

Файл тезисов должен быть назван по фамилии автора, а если авторов несколько – по фамилии первого (например, Иванов и др.doc)

**Ключевые слова**

Прибрежно-морская область, дистанционное зондирование, космические снимки, спектральный индекс, ArcGIS

**Теория**

В настоящий момент геодезическая съемка с применением геодезических спутниковых приемников обладает рядом преимуществ, что обуславливает её широкое использование для решения задач, требующих высокой точности.

Геодезический мониторинг – это комплекс мероприятий, направленных на контроль деформаций, движений и изменений различных объектов. В прибрежно-морской области основной целью наблюдений является изучение динамики изменения береговой линии. Мониторинг выполняется с применением геодезических наземных наблюдений, методов дистанционного зондирования Земли (ДЗ) и экспедиционных визуальных и инструментальных обследований.

Прибрежно-морские области выполняют важные экологические и экономические функции, однако их устойчивость нарушается из-за климатических изменений, урбанизации и загрязнения.

В качестве объекта исследования выбрана территория Западного Ямала в районе полярной станции Марресале, которая может считаться репрезентативной для обширной зоны Западной Сибири и рассматривается в качестве модельной территории для выявления закономерностей изменения береговой линии в условиях динамики климатических факторов

Все исследования данной работы основаны на полевых исследованиях данного района с непосредственным участием авторов статьи и результатах камеральной обработке этих данных.

Дистанционное зондирование (ДЗ) является эффективным инструментом для изучения и мониторинга окружающей среды, управления природными ресурсами и решения задач в различных областях. Развитие технологий ДЗ открывает новые возможности для научных исследований и практического применения.

Космические снимки — это данные, полученные с искусственных спутников Земли (ИСЗ), позволяющие анализировать поверхность планеты в различных спектральных диапазонах.

Для района прибрежно-морской области Марресале были выбраны космические снимки Landsat, дата публикации которых 11.08.2024. Основопологающим фактором выбора графических данных является облачность в момент съемки, которая не должна превышать 30%. (Рисунок 1).

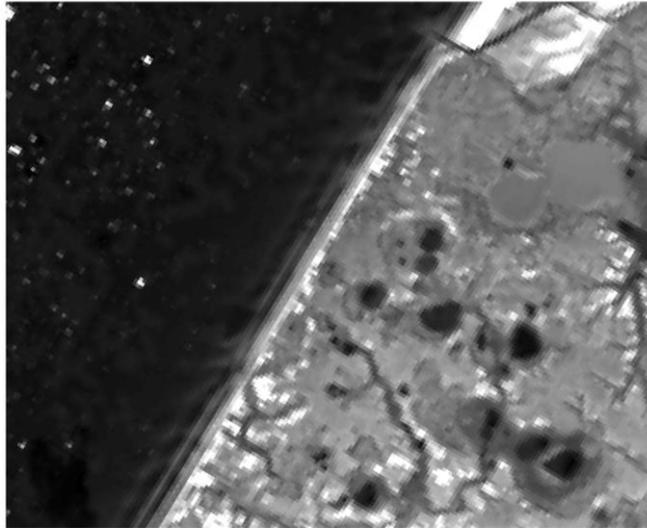


Рисунок 1. Космический снимок прибрежно-морской области

Первоначальным этапом обработки графических материалов является их геометрическая и атмосферная коррекция, радиометрическая калибровка, а также ограничение маской зоны исследования.

Для определения положения береговой линии целесообразно использовать автоматические способы обработки с помощью водяных индексов, используемые в калькуляторе растров, таких как «Модифицированный Нормальный Дифференциальный Водный Индекс» и «Нормальный Дифференциальный Водный Индекс»

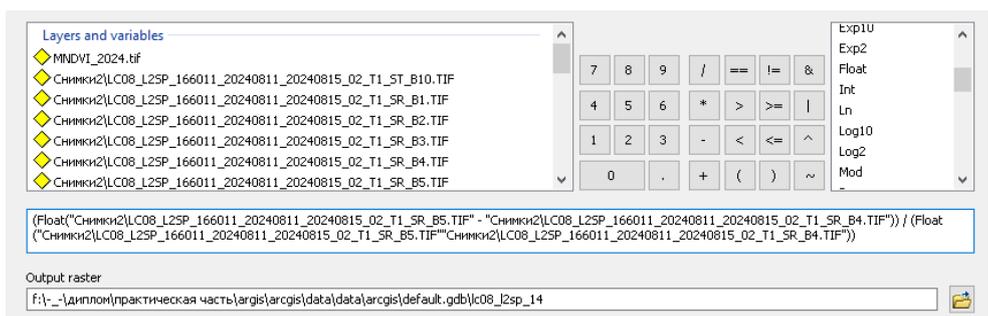


Рисунок 2. Калькулятор растров в ArcGIS

Математические комбинации каналов для выделения объектов способом MNDVI и

$$NDVI: NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}; MNDVI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Результаты обработки в ArcGIS представлены на рисунке 3.

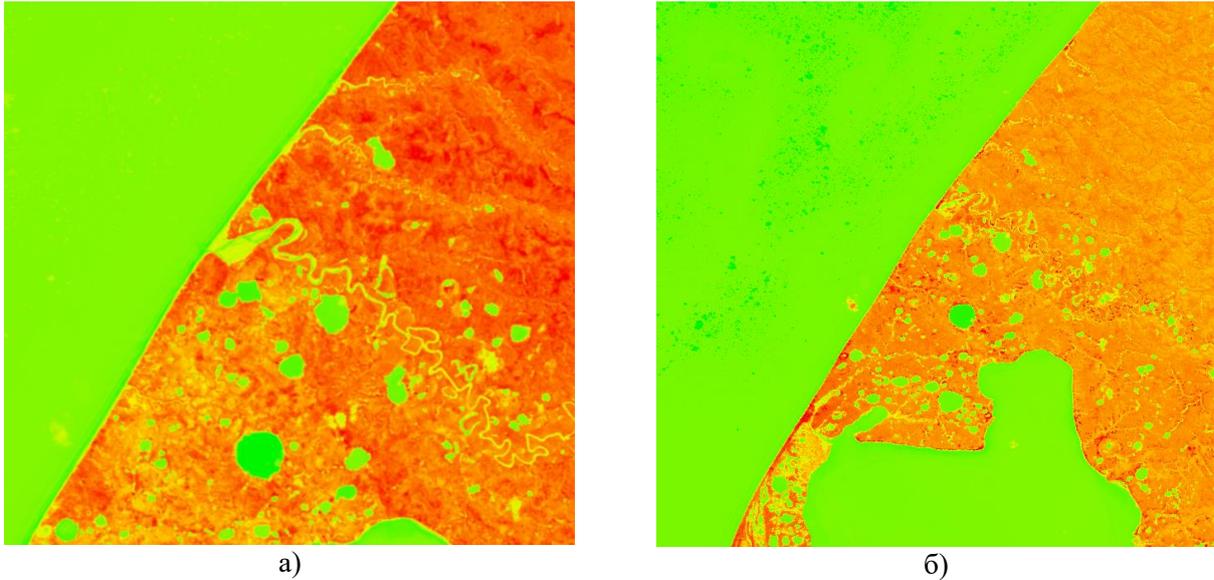


Рисунок 3. Математический способ NVI(a) и MNNVI(b)

В результате применения индексов с установленным пороговым значением, выделяется территория суши и водных объектов. Однако, следует упомянуть, что отсутствие определенной дискретной шкалы для индексов заставляет нас использовать только визуальный анализ изображений, не соответствующий требованиям геодезического мониторинга высокой точности.

В дальнейшем была представлена приближенная к фактическим значениям береговая линия, представленный на рисунке 5.

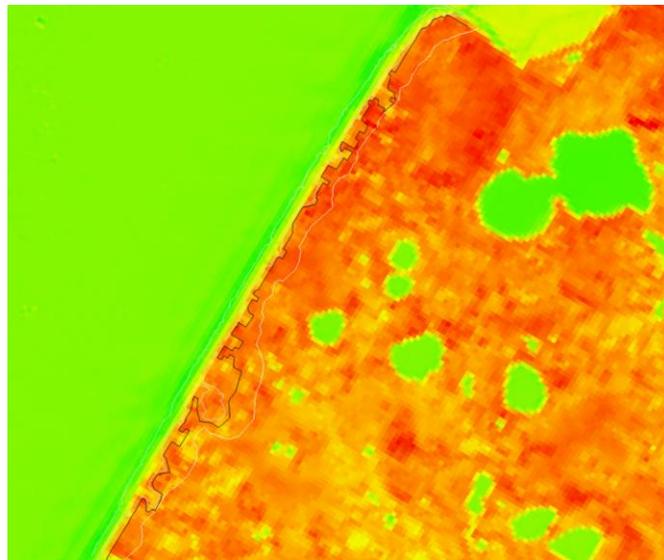


Рисунок 4. Положение береговой линии 2024 года

### Выводы

Подводя итог вышесказанному, применение космических снимков позволяет эффективно отслеживать динамику прибрежно-морских зон, подверженных динамике, учитывая особенности области исследования.

Следует обратить внимание, что комбинация спектральных индексов и ГИС-анализа обеспечивает детальную визуализацию изменений, поддерживая принятие решений современных проблем, заключающийся в разработке стратегий, способных изучать, отслеживать и прогнозировать возможные трансформации прибрежно-морской области западного Ямала с целью минимизации потенциальных рисков и адаптации к новой ситуации.

### **Библиография\**

1. Крицук Л.Н., Дубровин В.А., Ястреба Н.В. Результаты комплексного изучения динамики береговой зоны Карского моря в районе метеостанции Марре-Сале с использованием ГИС-технологий // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII. № 4. С. 59–69.
2. Куен Динь Туен, Малинников В.А., Фам Чи Конг. Разработка методики определения типов прибрежных водно-болотных угодий по космическим изображениям Planetscope с использованием метода глубокого обучения (на примере национального парка Муй Камау, Вьетнам) // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023г. С. 109-133.
3. Троицкий В.А. Материалы по динамике юго-восточных берегов Карского моря // Геоморфология, 1977, № 1, с. 82–86.
4. Широков Р.С. Формирование геоэкологических условий прибрежно-морской области Западного Ямала при изменении климата // Научные ведомости Белгородского государственного ун-та. Серия: Естественные науки. 2019. 43(4). С. 412-424.

***Опытно-промышленное испытание способа переработки кислых сбросных растворов процесса биоокисления сульфидных флотоконцентратов: экологический аспект***

***Санакулов У.К. (ООО «KAOLIN PLUS», info@ngmk.uz),  
Эргашев У.А. (АО «Навоийский горно-металлургический комбинат»,  
u.ergashev@ngmk.uz)***

**Аннотация**

Статья посвящена разработке и опытно-промышленному испытанию технологии переработки кислых сбросных растворов процесса биоокисления сульфидных золотосодержащих концентратов. Основное внимание уделено вопросам снижения экологической нагрузки и минимизации выбросов загрязняющих веществ, таких как мышьяк и железо. В ходе исследования разработана технологическая схема, включающая двухстадийную нейтрализацию растворов с использованием аммиачной воды и щелочной обработки гидроокиси железа.

**Ключевые слова**

Биоокисление, кислые сбросные растворы, мышьяк, железо, нейтрализация, осаждение, экологическая безопасность, переработка отходов, горно-металлургическая промышленность, устойчивое развитие

**Введение**

Современные горно-металлургические предприятия сталкиваются с проблемой утилизации кислых сбросных растворов, образующихся при биоокислении сульфидных золотосодержащих концентратов [1,2]. Эти растворы содержат значительные количества трехвалентного железа (до 25 г/л) и пятивалентного мышьяка (до 6 г/л), что делает их крайне опасными для окружающей среды. Сброс таких растворов без предварительной очистки может привести к загрязнению водных ресурсов, деградации почв и негативному воздействию на экосистемы. Разработка технологии, позволяющей селективно извлекать железо и минимизировать содержание мышьяка в конечных продуктах, является важной задачей для снижения экологической нагрузки и повышения устойчивости горнодобывающей промышленности [3,4].

**Материалы и методы**

Лабораторные исследования включали изучение поведения железа и мышьяка при осаждении различными реагентами. Установлено, что при нейтрализации растворов методом осаждения железо и мышьяк разделить не удалось – их совместное выпадение начинается при рН 2,0 и завершается при рН 2,8. При нейтрализации раствора едким натром наблюдалось обратное растворение мышьяка при рН выше 8, что увеличивает риск его повторного попадания в окружающую среду. На основании полученных данных разработана технологическая схема, включающая осаждение железа и мышьяка аммиачной водой и последующее удаление мышьяка из осадка путем растворения едким натром (рисунок 1). Данный метод позволяет минимизировать объем токсичных отходов и предотвратить загрязнение экосистем.



Рисунок 1. Предлагаемая технологическая схема

### Результаты и их обсуждение

Разработанная схема была реализована в масштабах опытно-промышленных испытаний, что позволило подтвердить ее эффективность в реальных производственных условиях. Опытно-промышленная установка (рисунок 2) включает сгуститель Ц-9, цистерну для аммиачной обработки, пачук, два фильтр-пресса, емкости для распулповки фильтр-кека и сбора фильтрата, а также вспомогательное насосное оборудование, обеспечивающее циркуляцию растворов и осадков на всех этапах процесса.

Биокек с установки биоокисления поступает в сгуститель Ц-9, где происходит разделение на осветленный слив и сгущенный продукт. Верхний осветленный слив, содержащий кислые стоки, направляется в цистерну объемом 30 м<sup>3</sup>, куда дозированно подается аммиачная вода для первой стадии нейтрализации. После этого обработанный раствор перекачивается в пачук объемом 150 м<sup>3</sup>, где происходит дальнейшее осаждение примесей. Полученная суспензия подается на фильтр-пресс №1, где твердый осадок отделяется от жидкости.

Фильтр-кек, сформированный после первой стадии осаждения, подвергается щелочной обработке раствором каустической соды, что способствует дополнительному удалению примесей, в том числе остаточного мышьяка. Затем осадок повторно фильтруется на фильтр-прессе №2, после чего обезвоженный продукт направляется на склад готовой продукции, а жидкие отходы поступают в систему доочистки.

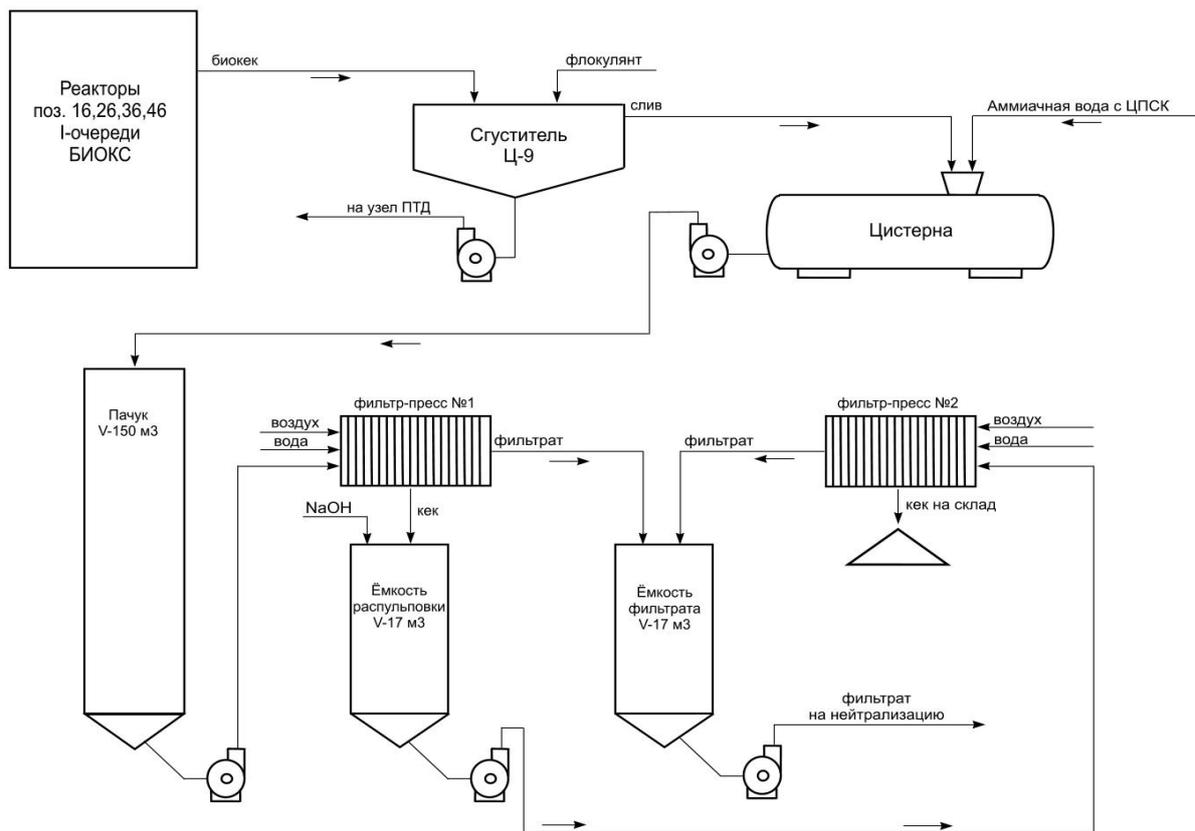


Рисунок 2. Опытно-промышленная установка вывода гидроксида железа из технологического процесса биоокисления

По результатам испытаний установлена принципиальная возможность получения гидроксида железа, пригодной для производства пигментов. Анализ исходных растворов и фильтратов после различных стадий обработки (таблица 1) показал значительное снижение концентрации железа и мышьяка в жидкой фазе. В фильтратах после нейтрализации концентрация железа снижена до 0,15 мг/л, а мышьяка – до <20 мг/л. После щелочной обработки содержание железа в фильтратах остается на уровне 0,53-1,0 мг/л, а мышьяка – около 3400 мг/л.

Таблица 1. Параметры исходного кислого раствора и фильтратов

№ п/п	Наименование проб	Fe <sub>общ</sub> , мг/л	As, мг/л
1	Исходная проба кислого стока	31200	6800
2	Фильтрат после нейтрализации. Опыт № 1.	0,15	<20,0
3	Фильтрат после нейтрализации. Опыт № 2.	0,15	<20,0
4	Фильтрат после щелочной обработки. Опыт № 1.	1,0	3400*
5	Фильтрат после щелочной обработки. Опыт № 2.	0,53	3400*

\* – зависит от отношения Ж:Т при щелочной обработке.

Полученные кеки после аммиачной обработки содержат 40% железа и 3% мышьяка, а после щелочной обработки – 40% железа и 0,2% мышьяка (таблица 2).

Таблица 2. Содержание железа и мышьяка в получаемых продуктах

№ п/п	Наименование продукта	Содержание, %	
		Fe	As
1	Кек после аммиачной обработки	40,0	3,0
2	Кек после щелочной обработки	40,0	0,2

### Экологическая значимость исследования

Разработанная технология переработки кислых сбросных растворов позволяет минимизировать выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду. Внедрение данной методики снижает риск попадания токсичных соединений мышьяка и железа в водоемы, предотвращая их накопление в почвах и грунтовых водах. Полученные осадки могут быть использованы в качестве сырья для производства пигментов, что способствует безотходному производству и снижает нагрузку на экологию. Кроме того, процесс переработки снижает потребность в традиционных методах нейтрализации кислотных отходов, которые требуют больших объемов реагентов и приводят к образованию значительного количества вторичных отходов.

### Выводы

Разработан способ переработки кислых сбросных растворов процесса биоокисления сульфидных флотоконцентратов, включающий двухстадийную нейтрализацию, осаждение железа и мышьяка аммиачной водой и последующее удаление мышьяка щелочной обработкой. Способ защищен патентом на полезную модель Республики Узбекистан. Опытно-промышленные испытания подтвердили его эффективность: разделение железа и мышьяка методом осаждения невозможно, но после двух стадий выщелачивания извлечение мышьяка достигло 98,6%, а его содержание в конечном продукте составило 0,09%. Разработанная технология позволяет минимизировать негативное воздействие кислых отходов на окружающую среду, снизить экологическую нагрузку на водоемы и почвы, а также уменьшить объем токсичных отходов горнодобывающей отрасли.

### Библиография

1. Эргашев У.А., Санакулов У.К. Попутное извлечение железа при бактериальном окислении золотосодержащих сульфидов // Горный вестник Узбекистана. Навоий, 2023. - №1. – С. 46-48.
2. Санакулов У.К., Эргашев У.А. Опытно-промышленные испытания получения пигментов из кислых стоков установки биовыщелачивания // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и перспективы развития комплексного инновационного развития Зарафшанского региона». – Навои, 27-28 ноября 2019 г. – С. 204-206.
3. Санакулов У.К., Тажибаев Д.Ю., Эргашев У.А. Извлечение железа из кислых растворов процесса биоокисления сульфидных золотосодержащих концентратов // Горный вестник Узбекистана. Навои, 2020. – № 3. – С. 82-85.
4. Санакулов У. К., Тажибаев Д. Ю., Эргашев У. А. Извлечение железа из кислых сбросных растворов, образующихся в процессе биоокисления сульфидных золотосодержащих концентратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-1. – С. 127–135.

***Кинетика и трансформация углеродистого вещества в золотосодержащих рудах:  
влияние на переработку и извлечение золота***

***Санакулов К. (АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», info@ngmk.uz),  
Хамроев И.О. (АО «Навоийский горно-металлургический комбинат»,  
io.hamroev@ngmk.uz)***

**Аннотация**

Статья посвящена изучению природы, кинетики и трансформации углеродистого вещества (УВ) в золотосодержащих рудах, а также поведению наночастиц золота при обжиге. В работе рассматриваются механизмы изменения состава и структуры минералов в хвостах сорбции после биоокисления, исследуется влияние углеродистого вещества на извлечение золота. Особое внимание уделено методам анализа фазового состава, термической устойчивости и сорбционных свойств УВ. Полученные результаты способствуют совершенствованию технологий переработки упорных руд и повышению эффективности добычи золота.

**Ключевые слова**

Золоторудные месторождения, углеродистое вещество, кинетика, биоокисление, термический анализ, наночастицы золота, пирит, арсенопирит, обжиг, цианирование, флотация

**Введение**

В последние десятилетия наблюдается снижение доли извлекаемого золота из простых в переработке руд, что требует разработки новых подходов к извлечению металла из упорных и особо упорных руд. Центральные Кызылкумы, включая месторождение Амантайтау, характеризуются высоким содержанием тонкодисперсного золота, заключенного в ассоциации с сульфидными минералами и углеродистым веществом [1]. Высокая сорбционная активность углеродистого вещества значительно снижает эффективность традиционного цианирования, что делает актуальным изучение природы углеродистых соединений, их поведения при термической обработке и влияния на извлекаемость золота [2]. Термическая обработка, в частности обжиг, является перспективным методом, позволяющим снизить влияние углеродистого вещества и повысить эффективность переработки руд [3,4].

**Материалы и методы**

Исследование проводилось на образцах руд и продуктах их переработки, отобранных на месторождении Амантайтау. В качестве объектов изучения использовались исходная сульфидная руда (ИСР), концентрат перечистки до тонкого помола (ФДТИ), концентрат перечистки после тонкого помола (ФПТИ) и хвосты перечистки (ХП). В ходе работы были проанализированы фазовый состав, структура и сорбционные свойства углеродистого вещества, а также его поведение при термической обработке.

Фазовый состав углеродистого вещества исследовался с применением рентгенофазового анализа методом порошковой дифракции. Структурные особенности углеродистого вещества изучались с использованием рамановской спектроскопии, что позволило оценить степень его метаморфизации.

Термическая устойчивость и трансформация углеродистого вещества исследовались с применением методов дифференциального термического анализа (ДТА), термогравиметрического анализа (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Опыт проводился в воздушной среде с разными скоростями нагрева (5°С/мин,

10°C/мин, 20°C/мин) в диапазоне температур от 200 до 800°C, что позволило определить температурные границы разрушения углеродистого вещества.

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования показали, что содержание углеродистого вещества в исследуемых образцах варьирует в широком диапазоне. В исходной сульфидной руде содержание органического углерода составляет 0,265%, а графитоподобного – 0,114%. В концентратах углеродистое вещество накапливается до 5,820%, в хвостах перемалывания органический углерод составляет 1,118%, а графитоподобный – 6,452%. Анализ термической устойчивости показал, что температура максимального выгорания углеродистого вещества в исходной руде составляет 464°C, а в концентратах снижается до 320-407°C, что свидетельствует о деградации структуры углеродистого вещества при флотационном обогащении (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1. Результаты термического анализа исследуемых образцов

№ п/п	№ обр.	Пики выгорания УВ, °С		Сорг. по данным ДТА, мас. %	Эффект окисления сульфидов
		Начало	Максимум		
1	ИСП	400	464	0,72	Перелом на высокотемпературном крыле при 600°C
2	ФДТИ	383	469	1,23	Пик с максимумом при 617°C
		Перелом на высокотемпературном крыле при 523 °С			
		375	471	10,85	Пик с максимумом при 595°C
		Перелом на высокотемпературном крыле при 524 °С			
3	ФПТИ	233 320	264 407	8,27	Пик с максимумом при 597°C, с последующим приростом массы и резким ее уменьшением в ходе дальнейшего нагревания (образование сульфатов и их термическая диссоциация)
4	ХП	430	463	1,63	Перелом на высокотемпературном крыле при 530°C

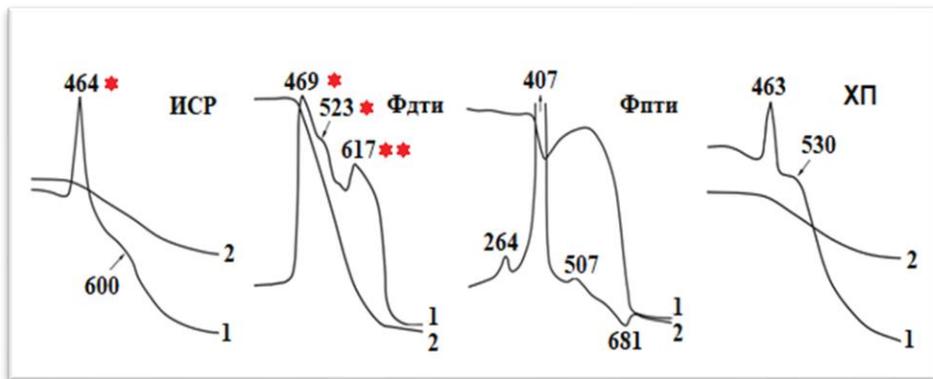


Рисунок 1. Результаты термического анализа исследуемых образцов: 1 – кривая нагревания, 2 – кривая взвешивания. Цифры на кривой нагревания – температура в °С

На рисунке 2 представлена диаграмма термической устойчивости и трансформации углеродистого вещества по объектам Центральных Кызылкумов в соответствии с "лестницей сгорания" Шарля Жерара. Данный график отражает изменение структуры и устойчивости различных форм углеродистого вещества в процессе термического воздействия. Он позволяет оценить степень метаморфизации углеродистых соединений и определить их влияние на технологические процессы переработки руд.

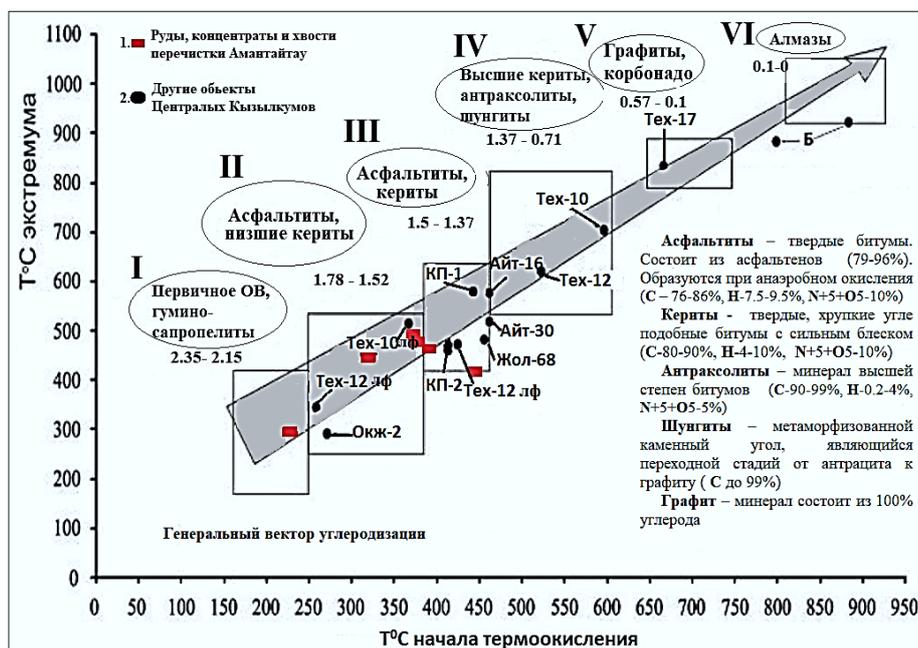


Рисунок 2. Диаграмма термической устойчивости и трансформации УВ по объектам Центральных Кызылкумов в соответствии с "лестницы сгорания" Шарля Жерара:

I – органическое вещество в современных осадках: растения, микроорганизмы, копролиты; II – асфальты, низшие кериты; III – асфальтиты, кериты; IV – высшие кериты, антракосолиты, шунгиты; V – графит, карбонадо; VI – алмазы. Точки: 1 – руды, концентраты и хвосты перемычки, Амантайтау; 2 – объекты Центрально-Кызылкумской группы углеродных рудных формаций: Тех-17 - графит из Тасказгана, Тех-12, Тех-12 лф (легкая фракция), Кп-2, Кп-1 – углеродсодержащая порода месторождения Кокпатас, Тех-10, Тех-10 лф, Айт-16, Айт-30 - углеродистые породы из месторождения Айтым, Ожк-

2 – Окжетпес, Жол-68 – углеродистая порода рудопроявления Жолдас, Б – графит из алмазоносных россыпей, Бразилия

Исследование золота в образцах показало, что его основная часть находится в сростках с пиритом, арсенопиритом, кварцем и алюмосиликатами. Свободное золото и его сростки составляют 32,76% в исходной руде, тогда как в хвостах перероботки его содержание значительно ниже, что свидетельствует об эффективности технологических процессов. Оптимальная температура обжига для разрушения углеродистых соединений и улучшения доступности золота для цианирования находится в диапазоне 500-650°C. Превышение этой температуры приводит к образованию соединений железа и кальция, усложняющих извлечение золота.

Исследование поведения золота при термическом воздействии с помощью СЭМ и ТЭМ показало образование наночастиц золота размером 50-100 нм в продуктах обжига. В образцах флотационного концентрата, биокека и пены из реакторов биоокисления зафиксированы наночастицы золота. При повышении температуры наблюдается агломерация золота, приводящая к увеличению размеров частиц.

### **Выводы**

Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительном влиянии углеродистого вещества на извлекаемость золота. Сорбционная активность углеродистых соединений снижает эффективность цианирования, но термическая обработка способствует разрушению углеродистых соединений и улучшает доступность золота. Оптимизация температурного режима обжига позволяет снизить сорбционные потери золота и повысить его извлекаемость.

Таким образом, исследование подтвердило, что термическая переработка золотосодержащих руд месторождения Амантайтау является эффективным методом для снижения влияния углеродистого вещества на извлечение золота. Полученные результаты имеют значительное практическое значение для горно-металлургической отрасли, так как позволяют совершенствовать технологии переработки упорных руд, улучшать показатели цианирования и минимизировать потери золота в технологических процессах.

### **Библиография**

1. Санакулов К., Хамроев И.О. Геолого-геохимические и технологические аспекты золота Кызылкумов – Навои: «NAVOIY», 2025 г. 728 с.
2. Санакулов К., Эргашев У.А., Доберсек А. Совершенствование технологии переработки углистых золотомышьяковистых упорных руд Узбекистана // Горный журнал. 2018 г. – С. 61-63.
3. Санакулов К., Эргашев У.А., Хамроев И.О., Фузаилов О.У. Новый подход к вопросу классификации упорных золотосодержащих руд на примере месторождений Кызылкумов // Цветные металлы. 2023 г. - С. 22-29.
4. Санакулов К., Хамроев И.О. Освоение месторождений упорных золотосодержащих руд Центральных Кызылкумов Западного Узбекистана // Золотодобыча №7 (284). 2022 г. - С.68-73.