

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

Молодые – Наукам о Земле: в 5 т. Материалы XI Международной научной конференции «Молодые – Наукам о Земле» - М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024.

Т. 4: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО. ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ И ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. - М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024 – 213 с.

ISBN 978-5-907594-32-6

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

ISBN 978-5-907594-32-6 (Том 4)
ISBN 978-5-907594-28-9

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024

Оглавление

СЕКЦИЯ 7 ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА	5
Исследование Государственного Исторического Музея в городе Москве с точки зрения концепции синергетики. Кочнова А.А., Демкин И.А.	5
Использование лазерного сканирования в инженерно-геодезических и обмерных работах. Володин А.А., Дамрин А. Г.	8
К вопросу об организации родника в подвале объекта культурного наследия “Здание института удобрений, агротехники и агропочвоведения, 1914г.” Голиков И.А., Буфеев Ф.К.	11
Оценка глубины сжимаемой толщи при расчётах оснований фундаментов Горлов А.А., Фоменко И.К.	15
Электрические свойства оттаивающих мерзлых грунтов побережья Байдарацкой губы вблизи поселка Яры. Григорьев Д.В., Кошурников. А.В.	19
К вопросу об изучении грунтов основания объектов культурного наследия при комплексном выполнении инженерных изысканий. Гудошников. К.О., Буфеев. Ф.К.	23
Оценка возможности использования фибры при струйной цементации грунтов. Демашкан В.Ю., Иляхин С.В.	27
Формирование и пространственное распространение латеритных кор выветривание Гвинеи. Камара Абубакр Сидики	30
Изучение прочности глинистого вяжущего фундаментов Симонова монастыря в Москве. Капитанов А.Д., Буфеев Ф. К., Наумов М.А.	34
Особенности изучения грунтов основания объекта культурного наследия регионального значения «Театр Тиволи. Здесь в 1920 г. выступал Ленин В.И., кон. XIX – нач. XX вв., 1926 г., 1970–е гг.». Кедич А. И., Буфеев Ф.К.	38
Инженерно-геологические проблемы музеефикации объекта культурного наследия «Археологическая стоянка нижнего палеолита Диринг-Юрях» в Республике Саха (Якутия). Кольцова В.М., Вязкова О.Е.	42
Разработка эколого-гидрологической модели защиты водоносных горизонтов при рекультивации карьеров нерудного сырья. Комаров Е. И., Федотова В.П., Игумнов. А.А.	46
Синергетический подход к исследованию исторической природно-технической системы успенского собора в городе Смоленск. Афанасьев А.Е., Кочнова А.А., Демкин И.А.	50
Влияние поверхностных плёнок на капиллярное поднятие в песках. Лебедев Г.А., Самарин Е.Н., Пензев А. П., Летуновская С.С.	53
Влияние глинистых примесей на прочность песчаных грунтов, закрепленных модифицированным раствором алифатической эпоксидной смолы. Летуновская С.С., Пензев А.П., Самарин Е.Н., Лебедев Г.А.	57
Моделирование состояния многолетнемерзлых грунтов в основании водозаборного сооружения в районе реки Тас-Юрях. Наумов М.А., Фоменко И.К., Горобцов Д.Н.	61
Основные причины деформаций церкви Воскресения Христова в селе Оленьково Тульской области. Николаева П.А., Буфеев Ф.К., Кедич А.И.	65
Сравнение результатов контрольных и ускоренных испытаний грунтов сваями в многолетнемерзлых грунтах. Николенко И.А., Кулешов А.П.	69
Сравнительный анализ механических свойств грунтов, полученных на полевой Лаборатории Литвинова ПЛЛ-9 и на приборах компрессионного сжатия КПП-1. Парамзина К.С., Горобцов Д.Н.	73
Методы геодезического мониторинга объектов культурного наследия. Патик А.А., Дамрин А.Г.	77
Новые данные о тенденциях изменения мощности деятельного слоя на торфяниках в зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород. Пешкин Е.С., Марин В.Н., Гравис А.Г.	81

3D-моделирование местности и преобразование ортофотопланов по результатам аэрофотосъемки. Силина А.Р., Дамрин А.Г.....	85
Оценка особенностей мониторинга оползневых процессов с помощью аэрофотосъемки. Собченко А.А., Дамрин А. Г.	89
Инженерно-геологическое районирование прибрежных территорий Волгоградского водохранилища. Степанова М.В., Экзарьян В.Н.....	93
К вопросу об изучении грунтов основания храма Тихвинской иконы божией матери в Симоновом монастыре г. Москвы. Тазина А.И., Лещук С.И., Буфеев Ф.К.....	97
Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в инженерных изысканиях. Федорова А.Р., Дамрин А. Г.	102
Анализ и типизация инженерно-геологических условий исторических природно-технических систем монастырей ближнего оборонительного контура Москвы. Филюшин Д.А., Буфеев Ф.К.	106
Оценка современного программного обеспечения в целях оптимизации геодезических работ. Флотский И.А., Дамрин А.Г.....	110
Трансформация геокриологических условий в южной лесотундре Западной Сибири под влиянием изменения климата в 1975-2023 годах. Чуракаева В.О., Халимьянов А.З., Гравис А.Г.	114
Применение BIM-технологии в техносферной безопасности в строительстве. Шишкин Н.О., Зорина О.А., Масягина Н.И.	118
Обновление базы данных по Надымскому геокриологическому стационару. Щербакова А.А., Пономарева О.Е.	122
Первые шаги по введению в терминологию понятия природно-техническая система «Ограждающая конструкция-грунт» Гусев Д.Н., Горобцов Д.Н.....	126
СЕКЦИЯ 8. ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ	130
Химический состав водоносных горизонтов приуроченных к отложениям карбона на территории Московской области. Бенедечук А.В., Алентьев Ю.Ю.	130
Исследование и оценка энергетических параметров внутренних систем водоснабжения и водоотведения жилых зданий. Дерюшев Л.Г., Борисова П.А.....	135
Микробиологический анализ воздуха в пространстве самотечных трубопроводов. Жирнов Р.О., Ерхов А.А.	140
Очистка ливневого стока для условий южных регионов Вьетнама. Зыонг Н.Н., Гогина Е.С....	144
Умягчение природной воды едконатровым способом. Кривенко М.П., Гандурина Л.В.	148
Комплексный сульфатно-хлоридный титансодержащий коагулянт в процессах очистки ливневых стоков. Кузин Е.Н.	152
Перспективы внедрения инновационного метода удаления фосфора из возвратных потоков сточных вод с получением минерала струвита. Липатов В.С., Ружицкая О.А.	156
Очистка сточных вод от синтетических красителей с помощью пероксодисерной кислоты на примере фуксина., Любушкин Т.Г., Пономарева Е.А., Иванов А.А., Кузин Е.Н.	160
Снижение уровня подземных вод и его последствия в городе Кабул (Афганистан). Назари А., Черепанский М.М.	164
Влияние молекулы пуллулана на процесс флокуляции водной дисперсии бентонита и гуминовых кислот катионными полиэлектролитами. Носова Т.И., Нишукова М. А.....	168
Дефторирование сточных вод побочным продуктом переработки фосфогипса. Пересунько Ю.Д., Азопков С. В.....	172
Новый подход к оценке сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Петраш Е.П., Соколов Л.И.	176
Выбор дозы коагулянтов при проектировании станций очистки мутных природных вод. Гандурина Л.В., Кравченко Д.С., Петраш Е.П.	181

Исследование эффективности дефторирования модельной воды комплексными титансодержащими коагулянтами. Писарева А.А.	185
Кинетика процесса окислительной деструкции фенола под действием феррата натрия. Саранцева А.А.....	189
Применение информационной модели для выявления статистической связи между высокими концентрациями лития и техногенными и природными факторами. Савойская Н.К.	193
Очистка сточных вод полигонов твердых бытовых отходов в условиях Вьетнама Фам Т.И.Н.*, Гогина Е.С.....	197
Определение параметров области фильтрации в условиях скачкообразного изменения дебита. Шаров И.А., Фисун Н.В.	202
Факторы, влияющие на качество проведения опытно-фильтрационных работ. Алентьев Ю.Ю., Горячев И.А.....	206
Исследование эффективности применения солей железа для очистки мутных природных вод. Гандурина Л.В., Кравченко Д.С., Петраш Е.П.	210

**СЕКЦИЯ 7.
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Исследование Государственного Исторического Музея в городе Москве с точки зрения
концепции синергетики*

*Афанасьев А.Е. *(afanaciev.ae@yandex.ru),*

*Кочнова А.А. (navi-01@inbox.ru) 2-й курс магистратуры, гидрогеологический факультет,
Научный руководитель: Демкин И.А. (igordemkin@mail.ru) Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)*

Аннотация

В рамках исследования был проанализирован исторический памятник архитектуры – Государственный Исторический музей в городе Москва. С применением методов системного анализа и синергетики было проведено исследование инженерно-геологических процессов, выявлены потенциальные угрозы и разработаны основные меры для их нейтрализации.

Ключевые слова

Синергетика, инженерная геология, историческая природно-техническая система, памятники архитектуры, собор, аттрактор, точка бифуркации, флуктуация.

Теория

Исторические природно-технические системы (ИПТС) функционируют как открытые системы, активно взаимодействующие с окружающими их локальными системами и находящиеся в постоянном динамичном состоянии. Существует обмен веществом, информацией и энергией между ИПТС и локальными системами, что приводит к возникновению, активизации и развитию целых комплексов различных негативных процессов, одновременно представляющих собой форму самоорганизации памятника. Это подчеркивает способность системы к саморегуляции. В ходе всего жизненного цикла памятника система стремится достичь энергетического равновесия для себя, которое наиболее просто может быть представлено ровной поверхностью (т.е. при отсутствии управления системой ее техногенная составляющая должна быть разрушена, что приведет к трансформации системы из локальной исторической природно-технической в локальную природную или иную природно-техническую систему, и переведет ее на новый, более устойчивый, уровень функционирования).

Согласно концепции самоорганизации вещества в рамках синергетики, точка бифуркации представляет собой момент перехода системы из одного относительно устойчивого состояния в другое, что способствует формированию новых уровней организации. Существует множество возможных сценариев развития системы, и из-за случайных (нелинейных) воздействий окружающей среды невозможно точно предсказать, в какое состояние перейдет система после прохождения точки бифуркации. Тем не менее, все эти сценарии постепенно стремятся к аттрактору – точке или замкнутой линии, к которой сходятся все возможные траектории поведения системы, определяемые различными начальными условиями. Данная система демонстрирует очевидный аттрактор, который заключается в устранении излишних напряжений в ней и преобразовании формы рельефа в более "пологую" структуру, частично или полностью изменяя ее. Таким образом, реставрационные работы на ИПТС должны учитывать условия и причины всего спектра негативных процессов (в первую очередь, инженерно-геологических), развивающихся в их пределах (внутренние процессы), а также между ними и смежными системами (внешние процессы).

Государственный Исторический Музей является открытой природно-технической системой (ПТС), то есть сообщается с другими локальными системами. Для рассматриваемого

памятника, в силу его конструктивных и архитектурных особенностей, оценка степени приближения к точке ветвления сценариев развития системы является особенно сложной. Анизотропность геологической среды обусловлена расположением и конструкцией памятника в целом. Глубина фундаментов сооружения известна лишь по отдельным шурфам, и они имеют разную глубину заложения, а также достаточно сложную конструкцию (ранее в шурфах были обнаружены разгрузочные арки). Это, в свою очередь, приводит к неравномерности осадок сооружения. Последствия неравномерных осадок видны на рисунке 1.



Рисунок 1. Трещины на фасаде Государственного Исторического музея с раскрытием до 1 см

Недалеко от Государственного Исторического музея существовал ров от Никольской, Спасской и Константино-Еленинской башен, представлявший собой достаточно сложное инженерное сооружение с оборонительными каменными элементами. В ходе планировочных работ на Красной площади ров был разрушен и засыпан (причем, информации о том, остались ли какие-либо фортификационные элементы и конструкции в первоизданном или разрушенном виде в пределах засыпанного рва нет). В итоге одна часть ГИМа стоит на природных грунтах, а вторая – на техногенных накоплениях засыпанного рва. Ров и борт долины реки Неглинка являются элементами системы, определяющие наличие градиента потока подземных вод, что в последствии может привести к суффозионному разуплотнению грунта и образованию пустот. В дальнейшем совокупность факторов может привести к провалам и нарушению несущей способности грунтов. Кроме того, рядом с изучаемым памятником архитектуры находится множество старых коллекторов, подходящих к самому зданию, которые могут стать зоной выноса материала. Они нуждаются в более глубоком изучении, так как они могут создать благоприятные условия для развития суффозионных процессов.

Фундаменты могут принимать в себя талые воды, которые формируются на поверхности Красной площади. Более того, воды по своему составу не пресны, а имеют в себе растворы противогололедных реагентов. Отсутствие гидроизоляции может привести в высолам фундамента за счет сил капиллярного поднятия по поровому пространству, попадая на поверхность стены. Так как здание отапливаемое, происходит выпаривание этого раствора, соли отлагаются в порах и на поверхности кладки здания в целом. Кроме того, высолы меняют

химический состав вяжущего материала, что снижают его прочность. Для того, чтобы сохранить объект культурного наследия, рекомендуется организовать сток поверхностных вод, сделать гидроизоляцию фундамента и создать условия для оптимального регулирования температуры и влажности. Однако на данный момент предложить более точные и конкретные решения проблематично, так как имеющихся данных недостаточно из-за сложности исследований.

Система очень сложна и это обусловлено анизотропией геологической среды в двух направлениях и сложностью конструктивной схемой здания. Предыдущие исследования не учитывали эти особенности структуры, так как они основывались на формальном подходе с применением действующих стандартов строительства (ГОСТ, СП). На текущий момент, опираясь на имеющуюся информацию о обследовании здания, выявить весь спектр процессов не является возможным. В борьбе с комплексом возможных процессов можно применить некоторые решения, такие как использование свайных фундаментов и добавление плит в основание текущей конструкции. Эти методы имеют право на существование и могут приспособить здание к новым требованиям, но они представляют собой грубое антропогенное вмешательство в систему памятника, которое может также усугубить равновесность ГИМа. Не смотря на недостаток информации о системе памятника, достаточно очевидно, что для нивелирования неравномерных осадок наиболее разумным подходом будет уплотнить грунты под подошвой фундамента.

В заключении хотелось бы сказать, что необходимо провести целенаправленное исследование всей площадки памятника. Стандарты и строительные нормы могут давать лишь рекомендации, в то время как конкретные методы и объем исследований должны определяться их научной обоснованностью. При таком подходе, хотя изучение может быть относительно дорогим, его результаты в значительной степени компенсируются снижением затрат на производственные процессы.

Библиография

1. С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский. Результаты обследования фундаментов и прогноз развития осадок основания Государственного Исторического музея, 2006 год.
2. Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В. Причины возникновения и прогноз развития неравномерных осадок основания Государственного Исторического Музея. - основания, фундаменты и механика грунтов. №4-м.: 2001.
3. Е. М. Пашкин. Синергетика в Инженерной Геологии. Москва, 2023.
4. Е. М. Пашкин. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. Москва, 2022.
5. Кудрюмов С. П., Князева Е. Н., Основания синергетики. Санкт-Петербург, 2002.

*Использование лазерного сканирования в инженерно-геодезических и обмерных работах
Володин А.А.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, volodin.a.a.2002@gmail.com),
Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)*

Аннотация

В последние годы всё большее внимание уделяется методам лазерного сканирования и обработке данных. Активное применение находит при реконструкции зданий и сооружений. В связи с этим возникла целесообразность рассмотрения вопросов, связанных с возможностями использования лазерного сканирования как метода получения моделей зданий, внутренних помещений и прилегающих территорий. Ключевым вопросом является изучение особенностей использования данного вида съёмок в реставрационных работах жилых и нежилых помещений.

Ключевые слова

Лазерное сканирование, реконструкция, инженерная геодезия, обмерные работы.

Теория

Лазерное сканирование - современный метод получения трехмерных моделей окружающей среды. Сканер в процессе работ создает облако точек с пространственными координатами, которые в конечном результате дают 3D изображение с привязкой. [3]

Одним из главных преимуществ лазерного сканирования является его скорость и эффективность. Благодаря использованию лазерного луча, сканирование проводится в несколько раз быстрее, чем традиционные методы определения геометрических параметров объектов. Это позволяет значительно сократить время выполнения работ и снизить расходы.

Еще одно важное преимущество лазерного сканирования – это возможность получить точные данные о форме, размере и расположении объектов. Лазерный луч максимально точно измеряет расстояние до всех поверхностей и точек объекта, что позволяет создать надежную и подробную 3D-модель. Это дает возможность инженерам и геодезистам проводить детальный анализ объектов, выявлять ошибки и искажения, а также проектировать новые сооружения с большей точностью.

Еще одним важным аспектом использования лазерного сканирования является его применимость в сложных и недоступных для обычных методов объектах. Благодаря тому, что сканирование проводится дистанционно, не требуется прямого физического доступа к объекту. Это дает возможность производить измерения на больших высотах, в труднодоступных местах или в опасных условиях. Также лазерное сканирование позволяет измерять объекты без их разборки или перестановки, что значительно упрощает процесс работы.

Нами проведена съемка помещения сканером GoSLAM RS100S и использована программа КРЕДО 3D СКАН для обработки данных. По результатам съемки было получено облако точек помещения; выполняли привязку по меткам, установленных на стенах. В данном облаке были отдельно выделены стены, потолок и пол, чтобы внутреннее наполнение помещения не мешало дальнейшей обработке. В дальнейшем определили площадь помещения.

Лазерный сканер выполняет до одного миллиона измерений в секунду. Облако точек, полученное в результате его работы, выводится на экран в виде 2D и 3D изображения.

На строительном объекте использовался ручной лазерный сканер для ускорения работы. По запланированному маршруту специалист двигается и одновременно сканирует окружающее пространство. Сканер позволяет измерять с дальностью до 120-300 м, что позволяет не приближаться к объекту съемки. Точность ручного сканера и скорость сканирования не уступают традиционному методу съемки.

При реконструкции зданий и помещений лазерное сканирование может быть использовано для различных целей:

1. Создание точной трехмерной модели здания или помещения для проектирования и планирования ремонтных работ.
2. Определение точных размеров и форм объекта для проектирования и изготовления деталей, например, оконных и дверных проемов.
3. Идентификация структурных проблем в зданиях, таких как трещины и деформации, что позволяет инженерам и архитекторам разработать наиболее эффективные решения для их исправления.
4. Создание точной модели здания или помещения для использования в виртуальном пространстве, что может быть полезно для визуализации и представления объекта заказчикам.

Данный вид съемок является экономичным и быстрым. За короткий промежуток времени мы получили облако точек и создали подробную 3D модель помещения. Полученная модель может быть использована в различных программах для планирования ремонтных и реконструкционных работах.

Результатом работы лазерного сканера является облако точек, которое содержит в себе измеренные расстояния от прибора до объекта и трехмерные координаты точек объекта. (рис 1.) Данная информация позволяет выводить трехмерное изображение объекта в реальном времени, что позволяет на этапе полевых работ определить нерабочие зоны. Также при этом методе отсутствует необходимость съемки точек с двух станций, так как точность съемки предельно высока [4].

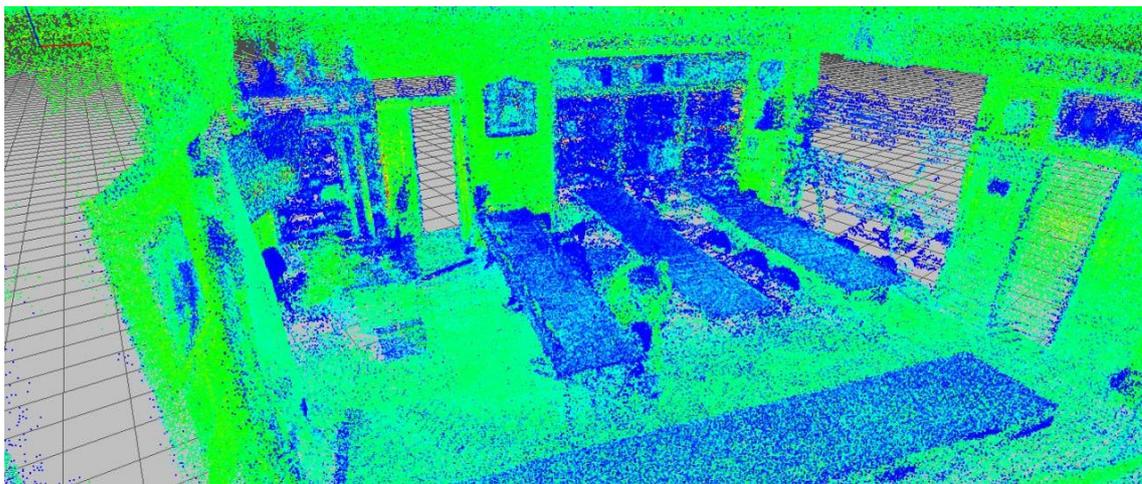


Рисунок 1. Облако точек [составлено автором]

Учитывая это, 3D-сканирование объектов может быть использовано для создания цифровых моделей не только отдельных зданий и сооружений, но и целых комплексов или территорий. Он также может точно предоставить информацию о сложных архитектурных формах. [1,2] Это позволяет применять данный метод при реставрациях зданий культурного наследия.

Результатом работы является план помещения, его 3D визуализация, определена площадь, которая составила 55,8 квадратных метра. (рис.2). Кроме того, по этим данным в дальнейшем можно определить длину и высоту стен, периметр и объем помещения. Это поможет в составлении работ по ремонту и реконструкции данного помещения, с дальнейшей визуализацией конечного результата в виде 3D модели.

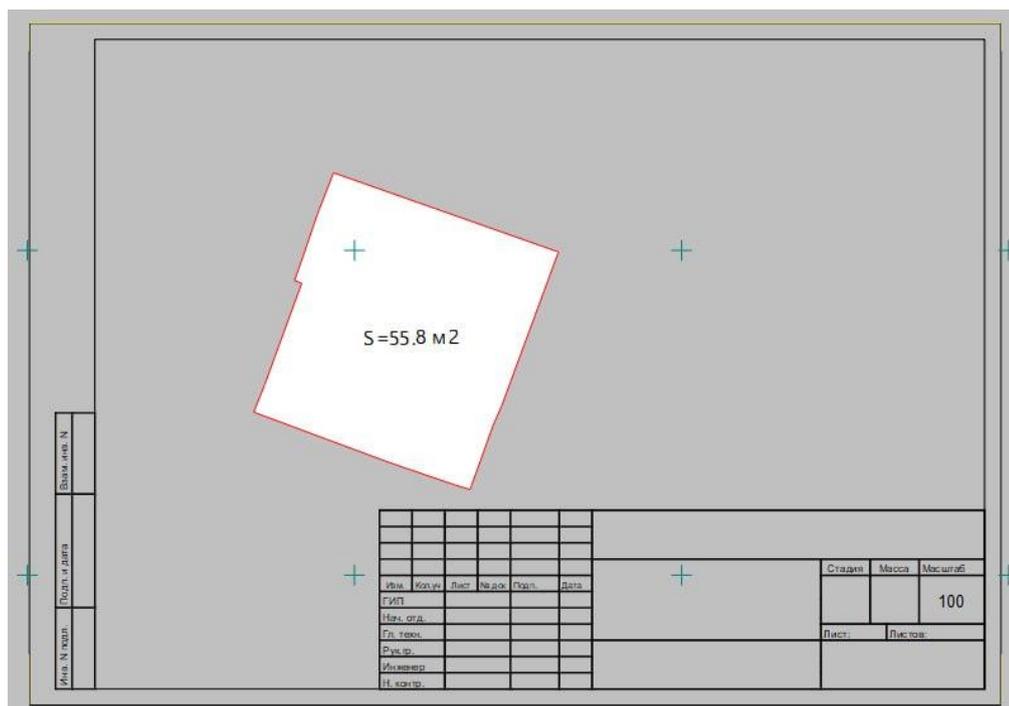


Рисунок 2. План помещения [составлено автором]

Выводы

Лазерное сканирование является эффективным и современным методом, который находит все большее применение в инженерно-геодезических и обмерных работах. Его преимущества в скорости, точности и применимости в сложных условиях делают его незаменимым инструментом для получения высококачественных данных о форме и геометрии объектов. В будущем, с развитием технологий, ожидается еще большее расширение области применения лазерного сканирования, что позволит еще больше автоматизировать и оптимизировать инженерные и геодезические работы.

Библиография

1. Дамрин А.Г. Преимущества лазерного сканирования при инженерно-геодезических изысканиях // Геодезия и кадастры: производство и образование. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. - Белгород: 2021. - С. 16-20.
2. Дамрин А.Г., Силина А.Р. Особенности лазерного сканирования в инженерно-геодезических работах // Региональные проблемы гологии, техносферной и экологической безопасности. Мат-лы III Всероссийской научно-практической конференции. - Оренбург: 2021. - С. 362-365.
3. Перякина В.И., Дамрин А.Г. Особенности лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). - 2015. - С. 727-736.
4. Богданов А.Н. Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях // Известия КГАСУ. - 2018. - №4. - С. 326-332.

***К вопросу об организации родника в подвале объекта культурного наследия “Здание
института удобрений, агротехники и агропочвоведения, 1914г.”***

Голиков И.А. (МГРИ, uqloz@yandex.ru),
Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru)*

Аннотация

При разработке проекта реставрации объекта культурного наследия всегда предусматриваются меры защиты конструкции фундаментов от увлажнения подземными водами. Наиболее надежно сооружения защищены от попадания атмосферных осадков сверху конструкциями кровель и карнизов. Однако, не всегда фундаменты защищены от влаги, поступающей из грунта. Наличие в теле фундамента воды приводит к таким процессам как вымораживание, морозобойное растрескивание. Помимо физических процессов, влияющих на состояние фундамента, влияние оказывают и химические процессы, такие как высолы, или же активное проявление агрессивности по отношению к бетонным и металлическим конструкциям. Эти же процессы и влияют на развитие деформаций в кладке фундамента, а в следствии цоколе и стенах. В настоящем докладе рассмотрены инженерно-геологические условия объекта культурного наследия “Здание института удобрений, агротехники и агропочвоведения, 1914г., инж. М. И. Осипов”. Основной проблемой является родник, располагающийся в подвале под основной частью сооружения. Родник является восходящим, что говорит о его приуроченности к напорному горизонту.

Ключевые слова

Родник, линза, московское оледенение, защита фундамента, водоносный горизонт.

Теория

На территории города Москвы располагается 144 родника. Образование такого количества родников связано с историей геологического развития территории. В четвертичный период на территории Восточно-Европейской платформы было 4 оледенения, три из которых дошли до Москвы. В результате таяния ледникового покрова формировались слои водонасыщенных песков. Сильное влияние на рельеф было оказано последним оледенением, московским. После отступления ледника были сформированы моренные и флювиогляциальные равнины. Классическая схема родника подразумевает разгрузку подземных вод в естественную дрена, как правило приуроченную к эрозионным врезам.

Для защиты фундаментов от подземных вод традиционно используются следующие методы:

1. Устройство отмосток и вертикальная планировка территории. Данный метод обеспечивает быструю эвакуацию атмосферных осадков, исключая развитие плоскостной эрозии и больших инфильтрационных расходов. Величина уклона спланированных участков зависит от шероховатости искусственных материалов, размера и геометрии участков и от сопротивляемости грунта эрозионному размыву. Неправильное устройство отмосток приводит к тому, что влага не испаряется из зоны аэрации, что приводит к скапливанию конденсационной влаги, которая приводит к вымораживанию конструкций вследствие увлажнения фундаментов и цоколя.

2. Устройство систем дренажа. Данный метод используется в случае, если уровень грунтовых вод находится выше подошвы фундамента. При отсутствии дренажа или неправильном его устройстве, происходит проникновение воды в кладку фундамента и стен. Это приводит к образованию высолов, что пагубно влияет на несущую способность кладки.

3. Устройство систем продухов. Для вентиляции кладки фундамента используется устройство системы продухов, что предотвращает скапливание влаги в зоне капиллярной каймы.

При отсутствии систем продухов или же неправильному их расположению, влага будет скапливаться, что также приведет к образованию высолов.

Также к мерам защиты фундамента от воды традиционно относится организация гидроизоляционных покрытий, выполнявшиеся из смеси извести, толченого кирпича и железных опилок; известково-глинистая и глинистая гидроизоляции; гидроизоляция, выполненная из асфальта, с добавлением крупного песка и свинца; листы из свинца.



Рисунок 1. Общий вид здания

Необычная ситуация была встречена авторами при изучении объекта объекта культурного наследия «Здание института удобрений, агротехники и агропочвоведения, 1914г., инж. М. И. Осипов». Строительство здания началось в 1913 году, в 1914 году были выполнены работы по внутренней отделке здания и всех коммуникаций. В первой половине сентября 1914 года в связи с началом Первой Мировой войны здание было отведено под лазарет. После выезда госпиталя в 1925 году на первом этаже была устроена лаборатория по первичной обработке льна. В 1929 году была произведена надстройка здания двумя этажами, тогда же оно было и расширено.

Во время строительства подвала здания были вскрыты напорные воды, строители каптировали место восхода, далее родник использовался в хозяйственно-питьевых и технических целях. В 2022 году, когда уже началась реставрация сооружения, ремонт начался с подвального помещения, в котором и находился каптированный родник. Во время реставрации строители неоднократно пытались заделать родник, залив его бетоном, однако железобетонную конструкцию неоднократно выдавливало напором воды.

В геологическом строении участка работ до глубины 15,0 м принимают участие следующие отложения:

Современные техногенные накопления(tQ_{IV}) представлены суглинком серовато-коричневым полутвердым с прослоями песка с гравием с крошкой и щебнем кирпича до 20%, слежавшимся плотным маловлажным.

Среднечетвертичные водно-ледниковые и озерно-ледниковые отложения московского горизонта (f,lgQ_{IIms}), представлены суглинком и песком. Суглинок коричневый с прослоем песка с гравием и щебнем до 10%, тугопластичный влажный, по прослоям песка водонасыщенный. Песок охристо-желтый, средней крупности средней плотности водонасыщенный.

Меловые отложения нижнего отдела (K_1), представлены песком серо-желтым, пылеватым слюдистым плотным водонасыщенным.

Фундамента сооружения опираются на среднечетвертичные водно-ледниковые и озерно-ледниковые отложения московского горизонта.

В результате изучения физико-химических свойств грунтов, определено, что современные техногенные образования и среднечетвертичные водно-ледниковые и озерно-ледниковые отложения московского оледенения являются неагрессивными по отношению к бетонам и железобетонным конструкциям, также обладают средней степенью агрессивности к оболочкам кабелей. Грунты современных техногенных образований по степени морозоопасности определяются как среднепучинистые.

Гидрогеологические условия на сентябрь 2023 года характеризуются наличием двух водоносных горизонтов.

Первый водоносный горизонт приурочен к среднечетвертичным флювиогляциальным водно-ледниковым отложениям московского оледенения. Горизонт носит безнапорный характер. Водоупором горизонта снизу являются суглинки. Были отобраны пробы на определения химических свойств воды, по результатам которой было определено что вода сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, пресные, умеренно жесткие по карбонатной жесткости. Воды имеют слабую степень агрессивности к бетонам и слабую степень агрессивности к металлическим конструкциям.

Второй водоносный горизонт приурочен к меловым отложениям нижнего отдела. Горизонт носит напорный характер, водоупор в ходе проходки скважины не был вскрыт. Также отобраны пробы для определения химических свойств воды, в результате определения выяснено, что воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые, пресные, умеренно жесткие по карбонатной жесткости. Имеют слабую степень агрессивности к бетонам и также слабую степень агрессивности к металлическим конструкциям.

По результатам технического обследования фундамента были выделены следующие типы кладки: бутобетон на щебне керамического полнотелого кирпича и известняка, квазирядная кладка блоков известняка грубой тески на цементном растворе, бутовая кладка глыб известняка и щебня керамического полнотелого кирпича размером до целого на цементном растворе, рядная кладка керамического полнотелого кирпича на известково-песчаном растворе/цементом растворе. Фундаменты под несущими стенами ленточные, под колонны – столбчатые. Кладка фундамента находится в работоспособном состоянии. Гидроизоляционных мер защиты кладок фундамента во время обследования не было обнаружено.

Выводы

В данный момент времени родник находится в подвальном помещении под основной частью сооружения, уровень которого постоянно понижается насосом. Во время проведения изысканий в этом районе работ, по техническим причинам работа насоса была приостановлена, в следствии чего подвальное помещение было затоплено. Для решения проблемы необходимо выполнить гидрогеологические исследования с целью оценки источника питания родника и

последующей разработки мероприятий по его каптажу и изоляции строительных конструкций от воздействия подземных вод.

Библиография

1. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры, Е. М. Пашкин, 335 с., 2018 г., издательство “Высшая школа”
2. Москва. Геология и город, О. П. Медведев, В. И. Осипов, 395 с., 1997 г., издательство “Московские учебники и Картолитография”
3. Родники Москвы, В. М. Швец, А. Б. Лисенков, Е. В. Попов, 159с, 2002 г., издательство “Научный мир”

Оценка глубины сжимаемой толщи при расчётах оснований фундаментов.

*Горлов А.А. * (МГРИ, andrey.gor10@yandex.ru),
соавтор Фоменко И.К. (МГРИ, ifolga@gmail.com)*

Аннотация

Расчет оснований по второй группе предельных состояний является обязательным при проектировании объектов капитального строительства. На практике расчет осадок фундаментов выполняется по модели линейно деформируемого полупространства по схеме линейно деформируемого слоя. Одной из проблем этой методики расчетов является увеличение осадки основания при увеличении учитываемой глубины грунтового массива. Для получения значений осадок зданий и сооружений в этой методике используется эмпирический параметр – глубина сжимаемой толщи основания (активной зоны, расчетной области и др.). Согласно нормативной документации ниже этой зоны деформациями грунтовой толщи при расчете осадок фундаментов заданных размеров допускается пренебречь.

В современной практике проектирования широко используются численные методы расчетов (МКЭ, МКР, МДЭ и пр.). Известно, что эффективность применения численного моделирования зависит от корректности назначения граничных условий, в частности, размеров (глубины) расчетной области. Для успешного использования численных методов требуется внесение уточнений в действующие нормативные документы, регламентирующих как расчет осадок зданий (в части назначения глубины расчетной области), так и предъявляющих требования к проведению инженерных изысканий в части назначения глубины исследований, представляющих исходные данные для проведения таких расчетов.

Ключевые слова

Осадка, сжимаемая толщина, грунт, численное моделирование, инженерные изыскания.

Теория

Проектирование зданий и сооружений и прогнозирование осадок требует проведения расчетов оснований по несущей способности и деформациям. Это определяет необходимость выполнения инженерно-геологических изысканий площадки строительства для определения физико-механических свойств грунтов на требуемую глубину. В практике реализации инвестиционных проектов в строительстве наблюдается тенденция к «экономии» за счет сокращения объемов инженерно-геологических изысканий, в частности, путем минимизации глубины бурения. Это, в свою очередь, приводит к ограничению информации о геологической среде площадки строительства, о существующих природных и техногенных процессах, о строении, составе, состоянии и свойствах грунтов оснований фундаментов [2].

Согласно требованиям п. 5.6.41 СП 22.13330.2016 нижнюю границу сжимаемой толщи принимают на глубине, где дополнительные вертикальные напряжения от фундамента σ_{zp} не превышают заданную долю природных вертикальных напряжений σ_{zg} , эта доля составляет 50%, в нормативно-технической документации более раннего года издания эта величина составляет 20%.

Развитие компьютерных технологий привело к широкому использованию численных расчетов в геотехнике, развитию математических моделей поведения грунтов.

Эффективность применения численного моделирования, а значит и качество результата, ключевым образом зависит от корректности назначения граничных условий, в частности, размеров (глубины) расчетной области.

В мировой практике одним из самых популярных является метод фактора влияния деформации [4], согласно которому глубина воздействия основания на геологическую среду

определяется через показатель фактора влияния деформаций I_z (Strain Influence Factor), который изменяется от $2B$ до $4B$ (B – ширина фундамента), в зависимости от формы фундамента.

Рассмотрим пример оценки влияния активной зоны на осадку основания плитного фундамента. Проектируемое здание представляет собой пятиэтажное сооружение с заглублением подземной части на 2,0 метра от поверхности земли (рис. 1). Здание имеет прямоугольную конфигурацию в плане, длиной 56,75м, шириной 22,20м. Тип фундамента - плитный, нагрузка на фундамент – 200 кПа. Предельная величина осадки основания - 15 см. Расчет осадки выполнялся в рамках теории механики сплошной среды в пространственной постановке задачи в программном комплексе Settle3.

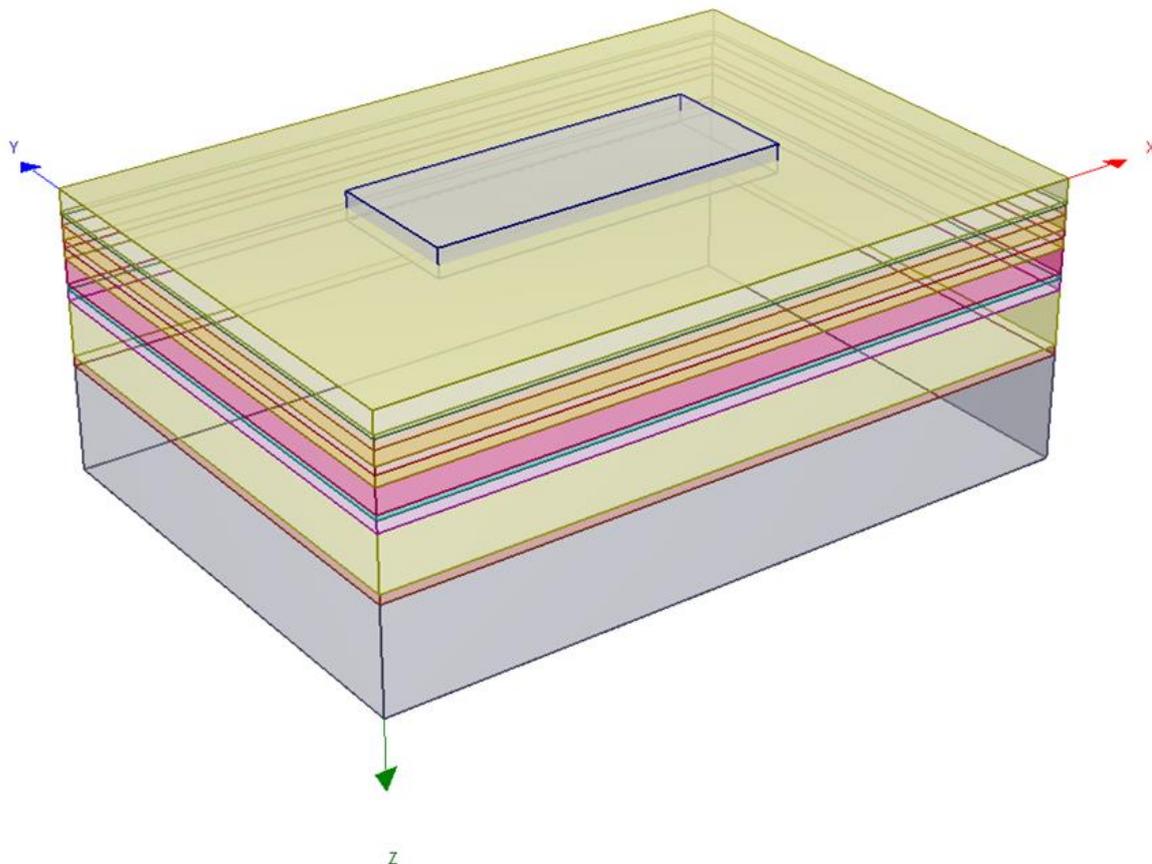


Рисунок 1. Расчетная схема моделирования осадки здания

Свойства грунтов, используемые в расчётах, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства грунтов

Геологический индекс/цвет	ρ , г/см ³	E, Мпа
t-Q _{IV}	1.73	11
a-Q ² _{III}	1.99	30
g-Q ^D _{II}	2.02	16
f,lg-Q ^{O-D} _{II}	2.01	19

$f,lg-Q^{O-D}_{II}$	2.04	38
$f,lg-Q^{O-D}_{II}$	1.95	23
J_3-K_1lp	2.05	38
J_3	1.92	28
J_3	2.01	27

Для оценки влияния активной зоны на величину осадки были выполнены расчеты по следующим вариантам:

- нижняя граница сжимаемой толщи принималась исходя из условия $\square_{zp}=0.5\square_{zg}$;
- нижняя граница сжимаемой толщи принималась исходя из условия $\square_{zp}=0.2\square_{zg}$;
- глубина влияния фундамента lz равнялась $2B$.
- глубина влияния фундамента lz равнялась $4B$.

Анализ результатов выполненной оценки влияния глубины активной зоны основания на величину конечной расчетной осадки показал, что по мере увеличения глубины расчетной области наблюдается рост значения осадки здания.

- При назначении глубины расчетной области 15,0м (исходя из условия $\square_{zp}=0.5\square_{zg}$), расчетное значение осадки здания составило $s = 11,9$ см.
- При назначении глубины расчетной области 22,92м (исходя из условия $\square_{zp}=0.2\square_{zg}$), расчетное значение осадки здания составило $s = 15,6$ см.
- При назначении глубины расчетной области 44,4м (исходя из условия $zl = 2B$), расчетное значение осадки здания составило $s = 20,4$ см.
- При назначении глубины расчетной области 88,8м (исходя из условия $zl = 4B$), расчетное значение осадки здания составило $s = 24,8$ см.

На рисунке 2 приведен график зависимости величины конечной осадки от мощности активной зоны.

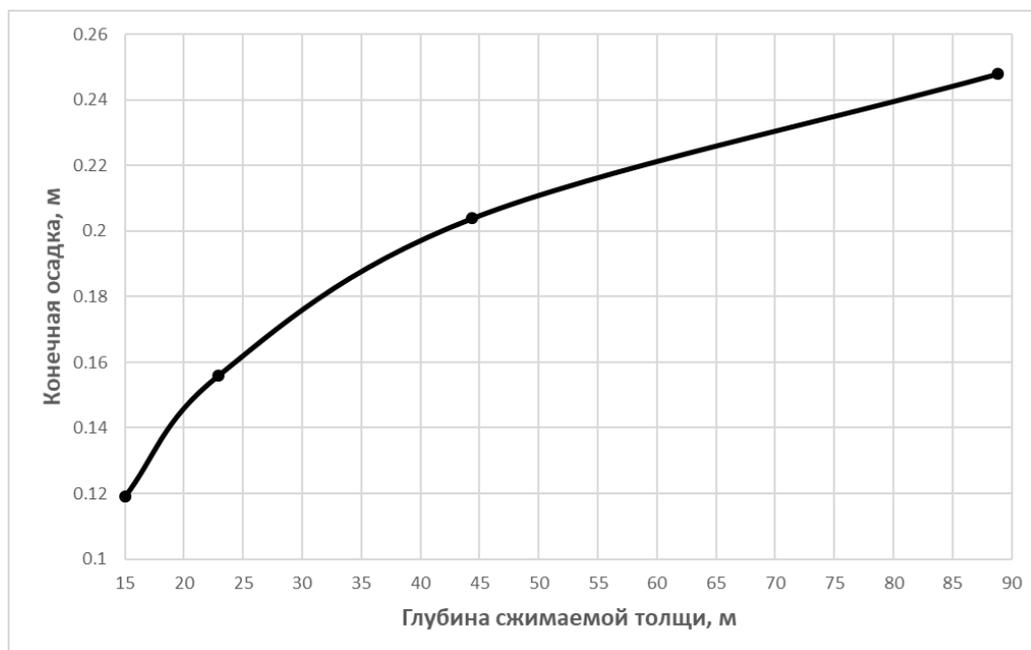


Рисунок 2. График зависимости величины конечной осадки от мощности активной зоны (глубины расчетной области)

Выводы

Ограничение глубины сжимаемой толщи, зачастую приводит к недооценке значения осадки фундамента. Это требует дальнейшего развития НТД, регламентирующих как расчет осадок зданий (в части назначения глубины расчетной области с учетом размеров фундаментов), так и предъявляющих требования к проведению инженерных изысканий (в части глубины изысканий), представляющих исходные данные для проведения таких расчетов.

Библиография

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. - М: Изд-во АСВ, 2016. – 1031 с.
2. Кургузов К.В., Дейнеко А.В., Фоменко И.К. Выбор учитываемой глубины нескальных оснований для инженерно-геологического опробования и расчетов по деформациям//Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии: Тр. Междунар. научн. конф. (Москва, МГУ, 04.02.2021 г.)/Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021. – С. 146-151.
3. СП 446.1325800.2019 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.
4. Pantelidis L. Strain Influence Factor Charts for Settlement Evaluation of Spread Foundations based on the Stress–Strain Method. Applied Sciences. 2020; 10(11):3822.

*Электрические свойства оттаивающих мерзлых грунтов побережья Байдарацкой губы
вблизи поселка Яры*

*Григорьев Д.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова, dima.grigoriev2000@gmail.com),
Кошурников А.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова, koshurnikov@msu-geophysics.ru)*

Аннотация

В данной работе приводятся результаты исследований закономерности изменения электрических свойств мерзлых грунтов (суглинков и песков) с массивной криогенной текстурой в цикле оттаивания при постепенном повышении их температуры на 0,5 °С. Отбор образцов производился на западном побережье Байдарацкой губы. Температурный диапазон, при котором проводились испытания, составляет 0 – -4,5 °С. Данный диапазон был выбран в связи с преобладающими на глубинах отбора образцов температурами пород и допущением возможности их последующего оттаивания. Более детально зависимость изучалась в диапазоне температур от 0 до -2 °С. Этот диапазон соответствует наиболее интенсивным фазовым превращениям влаги и, как следствие, наиболее интенсивным изменением значений сопротивлений.

Ключевые слова

Мерзлые оттаивающие грунты, электрические свойства, удельное электрическое сопротивление (УЭС), содержание влажности за счет незамерзшей воды.

Теория

Важной особенностью мерзлых пород является наличие в их составе льда, являющегося диэлектриком и сильно влияющего на величины различных характеристик электрического поля (Зыков, 2007). Состояние многолетнемерзлых пород является надежным индикатором происходящих в настоящее время климатических изменений как на глобальном, так и на региональном уровнях. А применение методов электроразведки, являющихся наиболее практичной и информативной группой получения знаний о строении, состоянии и динамике развития мерзлых толщ, в значительной мере упрощает процесс исследований и способствует получению этих знаний.

Испытания по определению значений УЭС в лабораторных условиях проводились на 4-х электродной установке. В небольшой сосуд монтировались 4 электрода, два из которых необходимы для пропускания электрического тока (питающие электроды А и В), а два других (MN) необходимы для измерения разности потенциалов. Испытания (рис. 1) проводились с помощью многочастотного электромагнитного датчика «ASTRA» (1), устанавливающего величину тока в цепи. Датчик был присоединен к аккумулятору (3) при помощи проводов и зажимов. Также к нему были присоединены питающие электроды АВ. Разность потенциалов измерялась на приемных электродах MN с помощью мультиметра «APL – 02» (2). Перед проведением испытаний был определен коэффициент установки. Для этого испытания проводились на 10% растворе поваренной соли, удельное электрическое сопротивление которого является табличным значением. После определения коэффициента установки образцы (4) были помещены в морозильную камеру, оборудованную заливленным термометром (6) и температурным логгером (7).



Рисунок 1. А) Установка для электромагнитного просвечивания; Б) морозильная камера с исследуемыми образцами

Значения УЭС рассчитываются по формуле $\rho = K \cdot \Delta U / I$, где ΔU - напряжение на MN; I - ток в линии АВ; K – геометрический коэффициент установки, зависящий от расстояния между электродами и их расположения, а также уровня жидкости в рабочей ёмкости (Кошурников, Котов и др., 2019).

Суммарно было выполнено более 600 экспериментов по определению значений удельного электрического сопротивления (по 6 при каждом значении температуры). Для обоснования полученных результатов предварительно были построены кривые содержания влаги за счет незамерзшей воды (Мотенко, Алексютина, 2013). Испытания проводились контактным и криоскопическим методами (рис. 2). Первоначально испытания проводились в температурном диапазоне от 0 до $-4,5$ °С. На каждом образце при заданной температуре было выполнено по 6 измерений. По осредненным значениям были построены зависимости изменения значений удельного электрического сопротивления песков и суглинков от температуры (рис. 3 (А)).

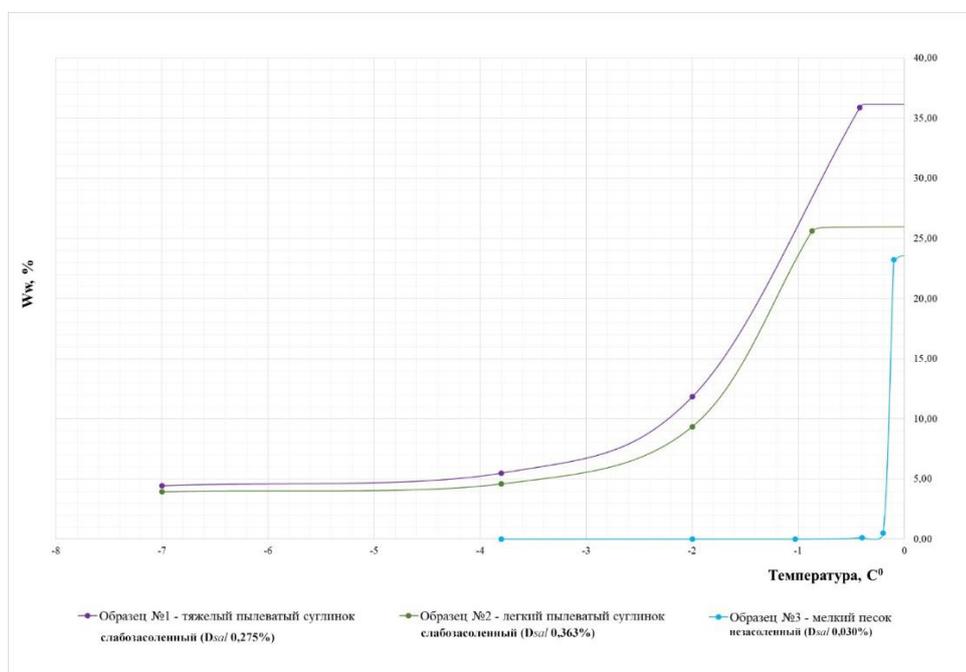


Рисунок 2. Зависимость содержания незамерзшей воды (W_w) от температуры

Анализируя полученные результаты, можно говорить о плавном и постепенном возрастании значений УЭС суглинков. Большие значения характерны для образца 2 с

естественной влажностью 24,9%. Они увеличиваются от 65,9 Ом·м в талом состоянии до 319,8 Ом·м в мерзлом. Значения УЭС образца 1 с естественной влажностью 32,3% при тех же условиях испытаний возрастают от 29,6 Ом·м до 309,3 Ом·м. В песках наблюдается более интенсивное увеличение значений сопротивлений, по сравнению с суглинками. Это объясняется фазовым составом влаги в грунтах. Построение данной зависимости показало неоднозначность и сложность изменения значений УЭС суглинков в температурном диапазоне от 0 до -2 °С, в связи с чем было принято решение более подробного изучения зависимости в данном температурном диапазоне. Было выполнено еще 384 эксперимента по определению значений УЭС (рис. 3 (Б)). Построенные зависимости демонстрируют увеличение значений УЭС, связанное с переходом все большего количества влаги в твердое состояние. Кристаллизация поровой влаги, в свою очередь, приводит к перекрытию и изменению конфигурации токопроводящих каналов.

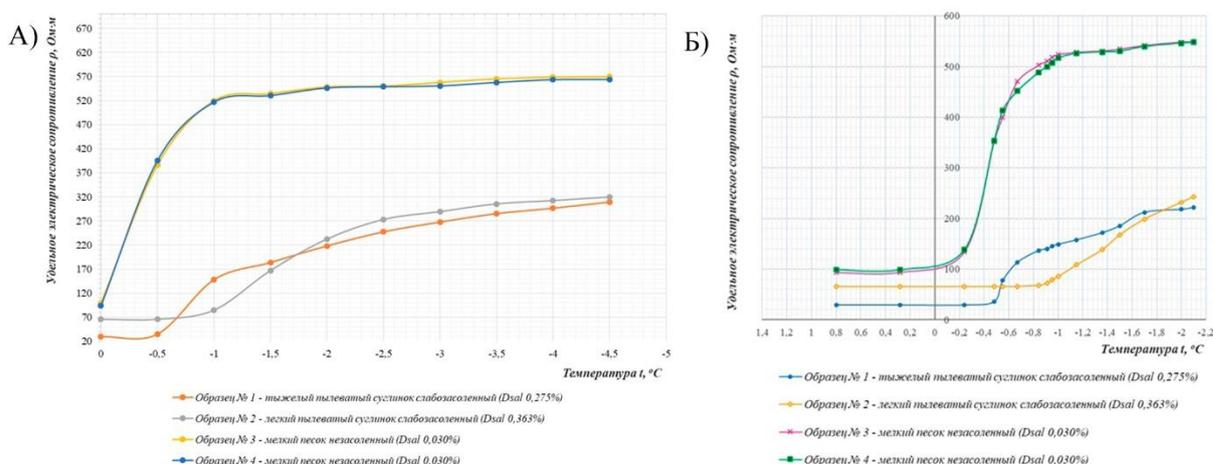


Рисунок 3. А) зависимость значений удельного электрического сопротивления песков и суглинков в температурном диапазоне от 0 С о до -4,5 °С; Б) Зависимость значений удельного электрического сопротивления песков и суглинков в температурном диапазоне от +0,8 С о до -2,1 °С

Так, увеличение значений УЭС образца 1 с естественной влажностью 32,3% начинается при температуре -0,48 °С, что коррелируется с полученными в результате определения температуры оттаивания данными. Резкое увеличение значений от 36,1 до 136,8 Ом·м, происходящее в диапазоне температур от -0,48 °С до -0,84 °С, объясняется кристаллизацией воды переходного типа. Далее, до температуры -1,5 °С значения УЭС возрастают плавно и достигают 185,7 Ом·м. Различимо более интенсивное увеличение значений УЭС до 212,3 Ом·м при температуре -1,7 °С, которое можно связать с кристаллизацией влаги в горизонтальном сечении образца. Наличие прослоев льда подобной конфигурации в наибольшей степени способствует увеличению значений сопротивления. При последующем понижении температуры происходит плавное возрастание значений до 221,7 Ом·м при температуре -2,1 °С. Наблюдая за изменениями значений УЭС второго образца – слабозасоленного легкого пылеватого суглинка с естественной влажностью 24,9%, можно отметить, что повышение значений происходит при более низких температурах, что объясняется меньшим количеством воды переходного типа и, как следствие, меньшими затратами тепла на фазовые превращения.

Увеличение значений удельного электрического сопротивления песка начинается при температуре -0,24 °С. Значения при данной температуре составляют 134,3 и 139,3 Ом·м соответственно для образцов 3 и 4. Резкое возрастание значений наблюдается до температуры -0,67 °С, достигая 470,3 и 451,7 Ом·м. Далее, до -1 °С наблюдается менее интенсивный рост значений сопротивлений до 523,6 и 516,9 Ом·м. При последующем понижении температуры

увеличение значений УЭС песков незначительно, что связано с полной кристаллизацией грунтовой влаги.

Выводы

Соотношение льда и незамерзшей воды сильно влияет на различные параметры, изучаемые посредством применения геофизических методов. С ростом температуры мерзлого грунта начинает развиваться комплекс процессов, связанных между собой и изменяющих структуру грунта. Это в значительной степени определяет характер зависимости значений УЭС от температуры.

При оттаивании грунта наблюдается все больший переход влаги из твердого состояния в жидкое. Данный переход сопровождается изменением значений удельного электрического сопротивления. Резкое возрастание значений УЭС песков связано с тем, что их проводимость определяется переходом в твердое состояние всей свободной воды. Количество же связанной воды, которая преобладает у суглинков, определяет самые низкие значения сопротивлений породы и самое медленное повышение значений УЭС при понижении температуры.

В результате исследований, проведенных при близких к 0 температурах, было выявлено, что отрицательные температуры грунта не всегда сопровождаются резким изменением электрических свойств, что объясняется дисперсностью грунта, характером сложения и засоленностью. Это отмечает необходимость проведения исследований в этой области в дальнейшем.

Полученные результаты хорошо коррелируются с данными, полученными криоскопическим и контактными методами, что говорит о достоверности полученных результатов.

Библиография

1. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолитозоны: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2007, 272 с.
2. Кошурников А.В., Котов П.И., Агапкин И.А. Влияние засоленности на акустические и электрические свойства мерзлых грунтов. *ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 4. ГЕОЛОГИЯ*. 2019;(6):99-106.
3. Мотенко Р.Г., Алексютин Д.М. Теплофизические свойства и фазовый состав влаги мерзлых грунтов ральского берега Байдарацкой губы // *Инженерная геология*. 2013, №3, с. 36 – 43.
4. Хмелевской В.К., Костицын В. И. Основы геофизических методов: учебник для вузов/ Пермь, 2010, 400с.

*К вопросу об изучении грунтов основания объектов культурного наследия при комплексном
выполнении инженерных изысканий*

*Гудошников.К.О. * (ИГЭ РАН, gudoshnikov-k@mail.ru),
Буфеев.Ф.К (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru)*

Аннотация

При изучении объектов культурного наследия одной из важнейших задач, до сих пор не решённой окончательно, и не нашедшей решения в действующих нормативных документах, является изучения напряжённо-деформированного состояния грунтов основания. При отборе грунтов в процессе бурения инженерно-геологических скважин и их дальнейшем изучении в лабораторных условиях инженер-геолог получает показатели физико-механических свойств грунтов, не испытывавших нагрузку от сооружения в период его эксплуатации. Это связано с технологическими особенностями организации буровых работ. В результате, инженер-конструктор оперирует свойствами грунтов, не соответствующими реальным, характерным для находящихся длительное время под действия нагрузки от сооружения грунтов основания.

Ключевые слова

объект культурного наследия, инженерно-геологические изыскания, нормальные и касательные напряжения, фильтрационная консолидация.

Теория

В последнее время в Российской Федерации значительное внимание уделяют сохранению объектов культурного наследия (ОКН). Для этого выполняется изучение объекта, оценка его технического состояния. Затем разрабатывается проект реставрации или реконструкции. Реставрация и реконструкция — это два различных процесса восстановления и сохранения исторических объектов. Реставрация обычно подразумевает восстановление объекта до его первоначального состояния с использованием оригинальных материалов и техник. Ее целью является сохранить историческую ценность объекта и его уникальные характеристики. Реконструкция - проведение комплексных строительных и отделочных работ с целью качественного изменения технико-экономических показателей здания. В процессе реконструкции здание из исходных элементов сохраняет лишь несущие конструкции - стены, перекрытия, лестницы. Меняется все, что только возможно заменить - половое покрытие, перегородки, потолки, коммуникации. Таким образом, основное отличие между реставрацией и реконструкцией заключается в том, что реставрация стремится сохранить историческую ценность объекта, а реконструкция - воссоздать его в новом виде с использованием современных технологий и изменением конструктивных особенностей. Состав проектной документации закреплен в Федеральном законе "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации" от 25.06.2002 №73-ФЗ и содержит раздел конструктивные решения, в котором обязательно присутствуют разделы, связанные с обследованием здания ОКН и инженерно-геологическими изысканиями.

Объекты культурного наследия отличаются от других сооружений тем, что у них, в подавляющем большинстве случаев, отсутствует исходная документация. Поэтому при их изучении приходится проводить изыскания как под новое строительство, из-за отсутствия данных о инженерно-геологических условиях. Изыскания включают в себя: сбор и анализ архивных данных, рекогносцировочное обследование, проходку инженерно-геологических выработок с их опробованием, полевые, гидрогеологические, геофизические и лабораторные исследования [2]. Помимо это есть отдельный вид работ – обследование фундаментов и грунтов основания. Для определения типа конструкций фундаментов, глубины заложения, оценки его технического состояния, полевого описания состояния и свойств грунтов основания, полевых

исследований свойств и отбора проб грунтов, осмотр конструкций фундаментов на предмет дефектов, трещин и деформаций, отбор проб материала фундаментов для лабораторных испытаний, фотофиксация строительных конструкций. При обследовании фундаментов и грунтов основания должны отбираться образцы проб грунта из-под подошвы фундамента для определения деформационных и прочностных характеристик.

В процессе проведения буровых работ образцы отбираются в соответствии с требованиями нормативов [4]. При проведении инженерно-геологических изысканий для нового строительства, местоположение горных выработок устанавливается по контуру планируемого сооружения. При изучении уже существующих сооружений, буровые скважины не могут располагаться в пределах контура здания, поэтому приходится проводить бурение на некотором расстоянии, которое, никак не регламентируется современными нормативными документами. Это расстояние выбирается с учетом технологических особенностей самого процесса бурения, в частности необходимо место для подъезда буровой машины, раскладки инструмента.

С учетом всех вышеперечисленных факторов, расстояние от стен сооружения до предполагаемых скважин может достигать от 5 до 10 м. Соответственно, на этом расстоянии, грунты, которые залегают на глубине заложения подошвы фундамента находятся под давлением, которое на глубине до 3 метров, обычно не превышает 60кПа. А на грунты, которые находятся под подошвой фундамента самого сооружения, оказывается значительное давление, которое может достигать 300кПа под стенами и более 500кПа под пилонами и колоннами.

Объектом изучения инженерной геологии является природно-техническая система (ПТС) – упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средствами труда, естественные и искусственно измененные тела, а также естественные и искусственные поля [1]. При изучении инженером-геологом памятников архитектуры, правильным является подход, когда сооружение, имеющее статус объекта культурного наследия изучается как искусственная подсистема исторической природной технической системы (ИПТС). Элементарная ПТС включает два компонента сооружение и сферу взаимодействия литосферы. Сфера взаимодействия – область литосферы, в которой под влиянием орудий или предметов труда изменяется течение природного геологического процесса и развивается геологический процесс искусственного происхождения, инженерно-геологический.

Важным с практической точки зрения следует считать вопрос о границах ПТС. Границу устанавливают либо путем расчетов границ развития экзогенных геологических процессов, либо на основе текущей информации о состоянии системы, получаемой в ходе режимных наблюдений за ее функционированием. [1]. Основными методами расчета являются метод послойного суммирования и метод конечных элементов. Основными значениями для расчета данных методов, являются физико-механические характеристики грунта, которые определяются в процессе инженерно-геологических изысканий

В 1885 г. Буссинеск [3] решил задачу о распределении напряжений в линейно-деформируемом полупространстве при приложении к его поверхности сосредоточенной силы и смог найти нормальные и касательные составляющие напряжения, которые образуются под подошвой фундамента сооружения (рис. 1). Нормальные напряжения распределяются вглубь под зданием. Максимальные напряжения наблюдаются, в центральной части фундамента сооружения и затухают с глубиной. Касательные напряжения развиваются от краев загруженной площади и распределяются в стороны, под центром фундамента касательных напряжений не возникает вовсе, а под краями имеет максимальное значение.

При производстве бурения в соответствии с требованиями современных нормативных документов границы распределения нормальных и касательных напряжений, возникающие от здания, обычно меньше глубины изучения массива. Следовательно, образцы одного и того же

грунта, отбираемые из-под подошвы фундамента и в процессе бурения (на удалении от границы фундамента), будут отличаться друг от друга разной степенью консолидации.

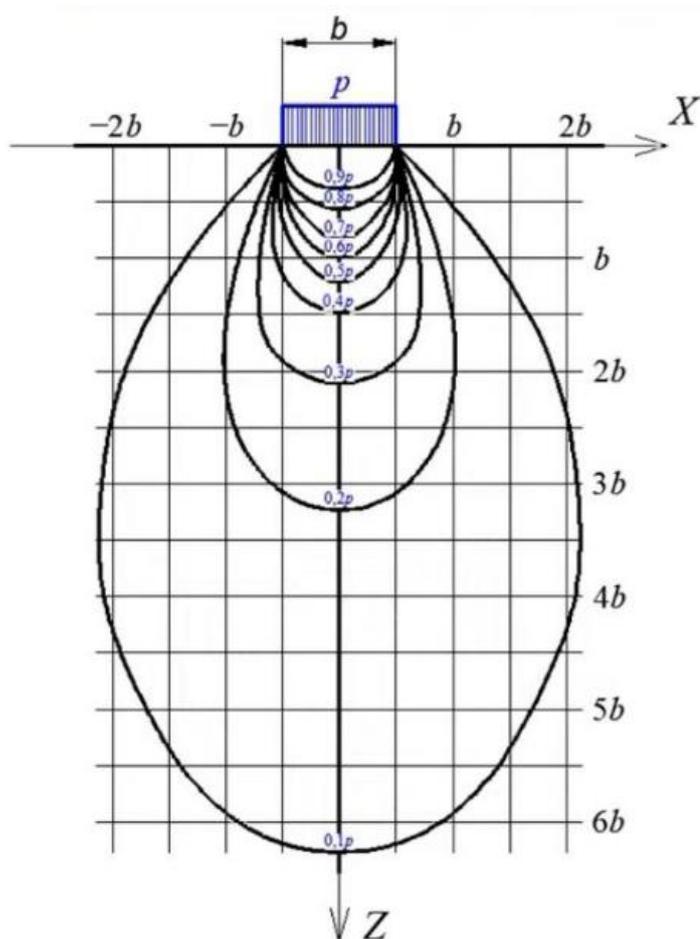


Рисунок 1. Изолинии нормальных напряжений

Грунты, находящиеся под подошвой фундамента, испытывают многолетнее воздействие от сооружения. За весь период воздействия, по мере протекания фильтрационной консолидации, поровое давление снижалось, а нагрузка переходила на скелет грунта, что вызывало его уплотнение. Еще одним отличительным признаком будет изменение структуры за счёт развития ползучести. Данный процесс, вызывает деформирование во времени без увеличения нагрузки. Даже при отсутствии избыточного порового давления или при неполном заполнении пор жидкостью деформирование происходит во времени. Это объясняется вязким трением в пленках связанной воды, возникающим при проскальзывании на контактах отдельных частиц (агрегатов). В грунтах с высоким содержанием глинистых минералов (связывающих воду) ползучесть выражается очень сильно, а в песчаных грунтах практически не наблюдается. [5]

Выводы

Таким образом, в настоящее время, при изучении исторических природно-технических систем модель напряжённо-деформированного состояния грунтов основания формируется на основании результатов изучения свойств грунтов, отобранных из скважин, находящихся на расстоянии от контуров сооружения. В результате, напряжённо-деформированное состояние грунтов основания описывается по данным, полученным при изучении грунтов, не

испытывавших нагрузок от сооружения. Данная проблема требует скорейшего решения, подкреплённого требованиями нормативных документов.

Библиография

1. Г.К. Бондарик, Л.А. Ярг. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии.
2. ГОСТ 12071-2020. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
3. Н.Н. Маслов. Основы инженерной геологии и механики грунтов.
4. СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ».
5. <https://geoinfo.ru/product/ooo-npp-geotek/opredelenie-parametrov-konsolidacii-43264.shtml>

Оценка возможности использования фибры при струйной цементации грунтов
Демешкан В.Ю.* (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго
 Орджоникидзе, vadim@demishkan.ru),
Иляхин С.В. (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго
 Орджоникидзе, isv11@mail.ru)

Аннотация

В статье рассматривается актуальность применения фибры при использовании технологии струйной цементации грунтов. Представлено описание технологии струйной цементации, существующие виды фибры и оценка возможности их использования в технологии струйной цементации.

Ключевые слова

Струйная цементация, фибра, грунтобетон, крепь, устойчивость, слабые грунты, сопло, струя, цементный раствор.

Теория

В настоящее время в плотной городской застройке всё более актуальным становятся методы освоения подземного пространства в сложных инженерно-геологических условиях. В связи с этим возникает необходимость создания новых методик, повышающих устойчивость и долговечность подземных сооружений, например, тоннелей.

Одним из методов проходки тоннелей в слабых грунтах является струйная цементация грунтов, с помощью которой формируется опережающая крепь (Рисунок 1).

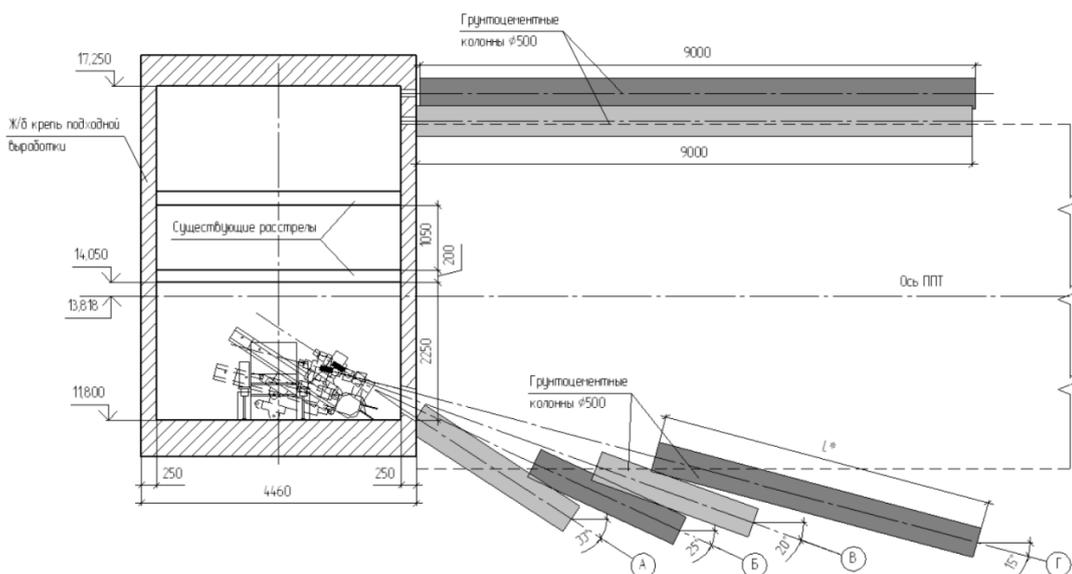


Рисунок 1. Схема создания опережающей крепи в массиве грунта с помощью струйной цементации [2]

Сущность метода состоит в создании горизонтальных колонн в массиве из грунтобетона, путем размыва грунта с помощью струи воды или цементного раствора (в зависимости от варианта технологии).

Струя истекает из сопел специального устройства – монитора, расположенного в нижней части буровой колонны сразу за буровым наконечником. В соплах монитора происходит преобразование потенциальной энергии рабочей жидкости, нагнетаемой под высоким давлением

насосом в монитор, в кинетическую энергию струи [1]. В дополнении к этому происходит вращения, за счёт чего создаётся грунтобетонная колонна с расчётной прочностью, необходимой для удержания массива.

В отличие от других технологий закрепления грунта, струйная цементация может быть использована практически во всём диапазоне существующих грунтов.

За счёт различных методик возможно добиваться необходимых физико-механических характеристик готового материала, однако грунтобетон имеет низкую прочность на растяжения, из-за чего такие нагрузки представляют наибольшую опасность для готовой конструкции [4].

Для улучшения свойств грунтобетона, применяют добавки различного типа. Наиболее опробованным методом является добавление в цементный раствор бентонита, увеличивающего водонепроницаемость грунтобетона. Это особенно важно при устройстве противофильтрационных завес. Обычно бентонит добавляют в количестве 1-3% от веса цемента.

Примерно в таких же пределах применяют ускорители схватывания – хлористый кальций и жидкое стекло (0.5-2,5 %) [2].

Увеличение прочности создаваемого грунтобетона, особенно на растяжение, возможно за счёт включения в состав материала фиброволокна.

Фибра предназначена, в первую очередь, для увеличения прочностных характеристик различных материалов (бетонов, асфальтов, пластиков, лакокрасочных веществ, мастик и т.п.) и применяется в качестве армирующей добавки.

На данный момент в строительстве применяют стальную, базальтовую, полипропиленовую, стеклянную и углеродные фибры (Таблица 1).

Таблица 1

Основные характеристики различных видов фибр [3]

Показатель / Вид фибры	Стальная	Стеклянная	Полимерная	Базальтовая	Углеродная
Плотность материала, кг/м ³	7700-7900	2500-2600	900-1190	2600-3100	1700-2000
Диаметр волокна, мкм	200-1200	5-35	10-500	7-400	3-15
Длина волокна, мм	15-60	6-25	3-50	3-72	2-50
Прочность на растяжение, МПа	800-3150	1000-3900	4000-8400	1600-3600	2000
Модуль упругости, ГПа	190-210	70-80	1.4-8.4	80-110	245
Удлинение при разрыве, %	3-4	1.5-3.5	10-45	1.4-3.6	1
Температура плавления, С°	1300-1500	425-600	115-260	1200-1300	3550

Стойкость в среде гидратации цемента	Низкая у обычной стали, высокая - у оцинкованной	Низкая у обычного стекла, высокая - у щелочного	Высокая	Высокая при диаметре волокон не менее 0.1мм	Высокая
--------------------------------------	--	---	---------	---	---------

Так как диаметр сопел при струйной цементации для подачи воды от 1,6 до 2,5мм, а для цементного раствора от 1,6 до 6,0 существует проблема подачи фибры через них, однако с развитием технологий создания фибры их прочностные характеристики увеличиваются, а размеры уменьшаются, так на данный момент ориентируясь на диаметры сопел, на длины и диаметры волокон разных фибр, можно сделать вывод о том, что возможно применение полимерных, базальтовых и углеродных фибр, но только из условия того, что диаметр сопел больше размеров фибры.

Не смотря на возможность применения новейших типов фибры в струйной цементации на данный момент из-за недостаточной научной базы в этом вопросе в промышленных проектах такие решение не применяются.

Выводы

Струйная цементация представляет собой эффективный метод закрепления грунта вокруг выработки, пройденной в слабых грунтах, за счёт возможности применения ее практически во всех видах грунта.

Для улучшения характеристик грунтобетона возможно добавление различных дополнительных компонентов, которые позволяют повысить водонепроницаемость, прочность, скорость схватывания и другие характеристики, за счёт которых улучшаются качество готовой конструкции.

Возможность добавление фибры при струйной цементации для создания опережающей крепи тоннелей требуют дополнительной научной базы, однако, изучение её влияния является актуальной проблемой для научного сообщества.

Библиография

1. Мангушев Р.А., Усманов Р.А., Ланько С.В., Конюшков В.В. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: Учеб. пособие. – М.,СПб.: АСВ, 2012. – 280 с.
2. А. Г. Малинин Струйная цементация грунтов. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 2010. – 226. с.
3. Фибра для бетона – виды и как выбрать // Грунтовозов URL: <https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/vidy-betona/vidy-betona-po-tipu-zapolnitelya/fibrobeton-dispersno-armirovannyj-beton/fibra-dlya-betona/> (дата обращения: 12.03.2024).
4. A review of jet grouting practice and development // ResearchGate URL: https://www.researchgate.net/publication/327149501_A_review_of_jet_grouting_practice_and_development (дата обращения: 12.03.2024).

**Формирование и пространственное распространение латеритных кор выветривание
Гвинеи**

**Камара Абубакар Сидики (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,
aboubacarsidiki.camara@yandex.ru)**

Аннотация

Целевое назначение научных исследований автора состоит в выявлении закономерностей распространения кор выветривания на территории Гвинеи, разработке схемы расчленения вертикального профиля коры выветривания на зоны; изучении изменчивости физико-механических свойств грунтов латеритной коры в зависимости от состава субстрата; оценке современных тенденций процесса выветривания горных пород.

Ключевые слова

Кора выветривания, латериты, зональность строения, физико-механические свойства.

Теория

Территория Африки занимает древнюю докембрийскую Африкано-Аравийскую 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. Латериты весьма типичны для территории стран экваториальной и субэкваториальной частей. Совокупность благоприятных условий образования кор выветривания: приуроченность к глобальным эпохам выветривания с тропическим климатом, тектонический режим с преобладающими положительными движениями, способствующий денудации рельеф и образованию поверхностей выравнивания, длительность формирования кор выветривания (1). Основными условиями, которые определяют строения и состав латеритных кор выветривания, являются: геоморфологические (морфология и возраст рельефа), условия залегания материнских пород, их структурно-текстурные особенности; минералогические и петрографические состав субстрата; длительность действия процессов выветривания.

Сложность структурно-тектонического строения, представленного широким спектром горных пород, слагающих территорию Гвинеи, демонстрирует рисунок 1.

Миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе коры выветривания определяет геохимическую, гидрогеохимическую (таблица 1) и инженерно-геологическую зональность строения латеритной коры выветривания (4,5).

Универсальная схема расчленения тропической коры выветривания, в основу которой положены: механизм процесса (вертикальная гидрохимическая и геохимическая зональность в профиле коры выветривания), минеральный состав пород, характер эффективных структурных связей и структурных связей минерального уровня, структурно-текстурные особенности и физико-механические свойства предложена Л.А. Ярг (1986г). 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.

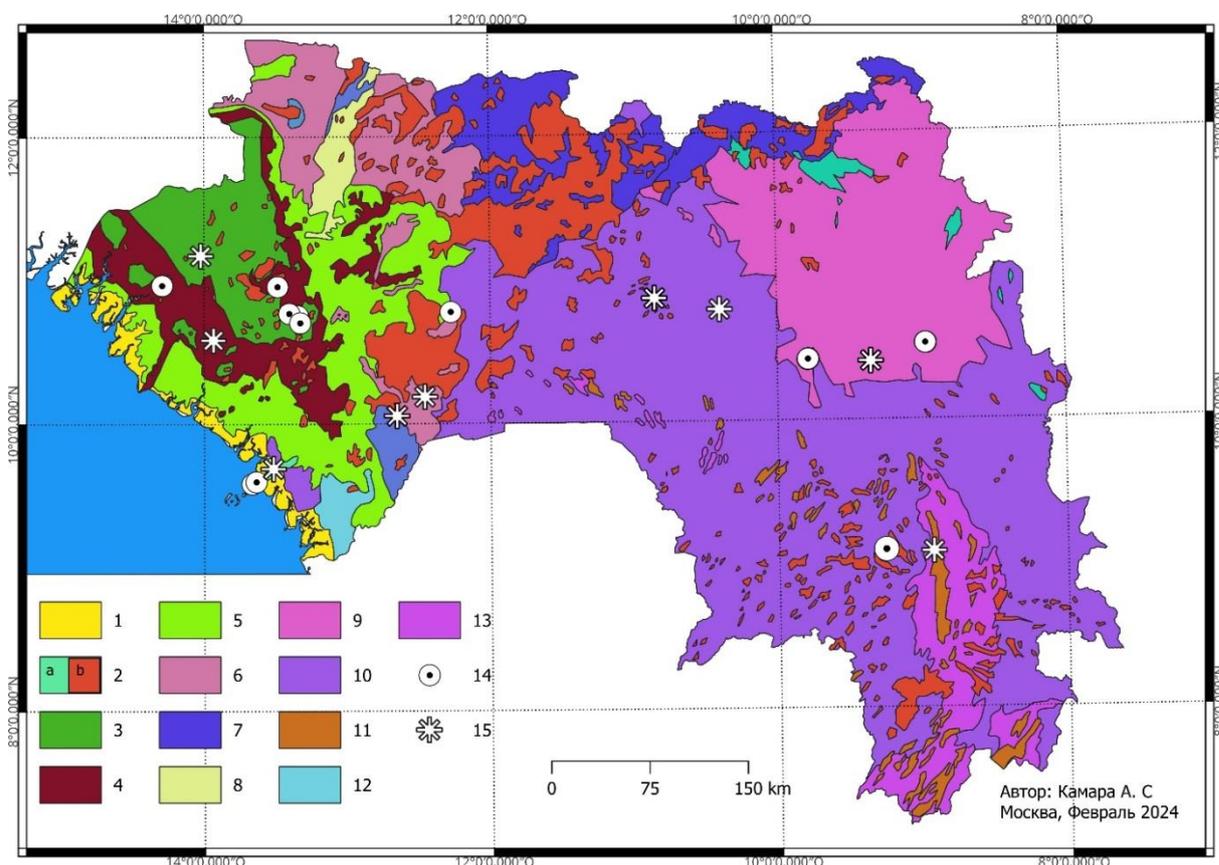


Рисунок 1. 1 –четвертичные морские или речные отложения; 2 – мезозой: а) дуниты, пироксениты, габбро-пироксениты и нефелиновые сиениты, б) долериты, диабазы и габбро-долериты; 3 – девон: алевролиты, аргиллиты, песчаники; 4 – силур: аргиллиты с прослоями песчаников; 5 – ордовик: моласса: кварцевые песчаники, гравий и конгломераты; 6 – кембрий: терригенные и терригенно-карбонатные отложения: аргиллиты, песчаники, яшмы, сланцы; 7 – вулканогенно-осадочные породы: песчаники, алевролиты, серицит-хлоритовые сланцы, кварциты; 8-9 – ранний протерозой: 8 – серия Бакель-Акжуйт; 9 – серия Биррим: терригенно - вулканогенные образования 10 – синтетектонические, метасоматические известково-щелочные граниты; 11-13 – нижний архей: 11– серия Simandou: железистые кварциты; 12 – серия Kassila: кристаллические сланцы, гнейсы, гранулиты; 13 – амфиболиты, пироксениты, тальковые сланцы; 14-15 - Точка отбора проб латерита, 15 – выполненные автором

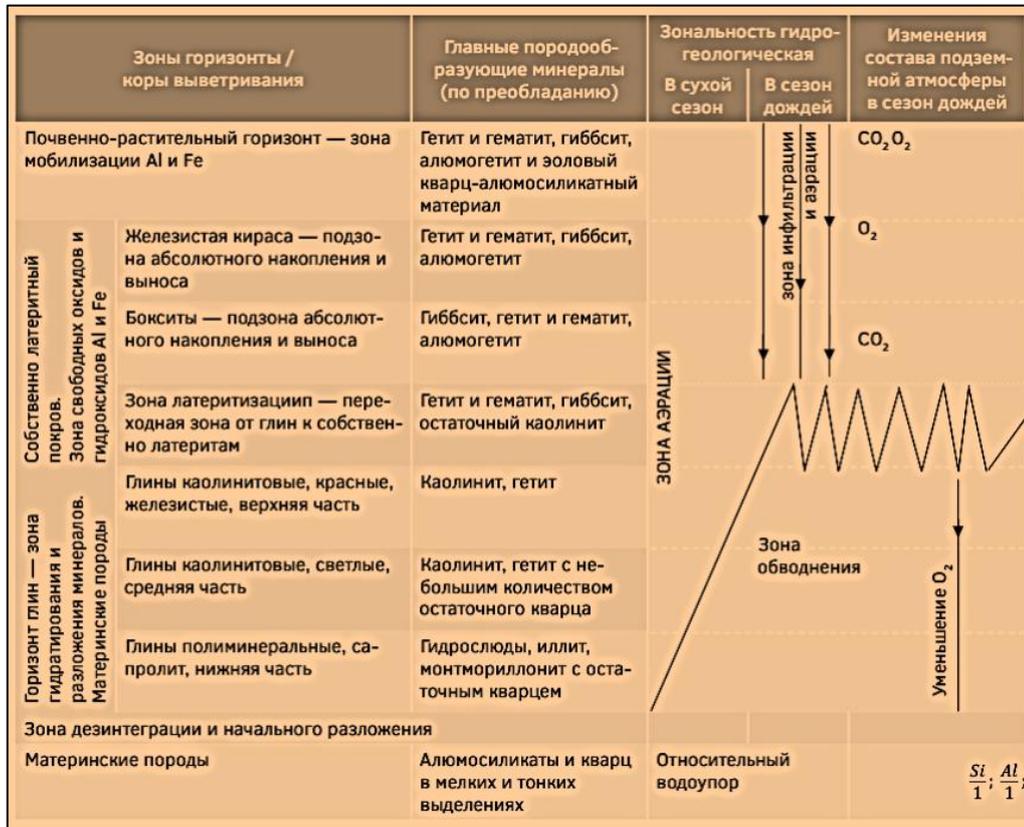
Изменение величины, конфигурации, пространственной структуры активных элементов толщи выветрелых пород - от глыб до кристаллитов глин, эффективных структурных связей пород (от кристаллизационных до коагуляционных), определяет изменение прочностных, деформационных и фильтрационных свойств грунтов. генетические признаки охватывают весь комплекс черт, свойственных выветривающейся породе: гранулометрический, минеральный и химический составы, структура, текстура, трещиноватость, пустотность, физико-механические свойства.

В пределах сравнительно небольшого по мощности интервала разреза пород присутствует полного спектра образований – от трещинных скальных пород до глин, различных с точки зрения инженерно-геологической классификации пород: по степени разуплотнения, дисперсности и другим свойствами.

В дисперсной зоне (каолиновых и латеритных глин) формируются физические свойства пластичности, набухаемости, зависимости деформируемости и прочности от влажности, не свойственные материнским породам.

Таблица 1

Миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе бокситоносной коры выветривания Гвинеи (Мамедов В.Н., 2020 г)



Изменчивость физико-механических свойств пород в коре выветривания долеритов демонстрирует рисунок 2.

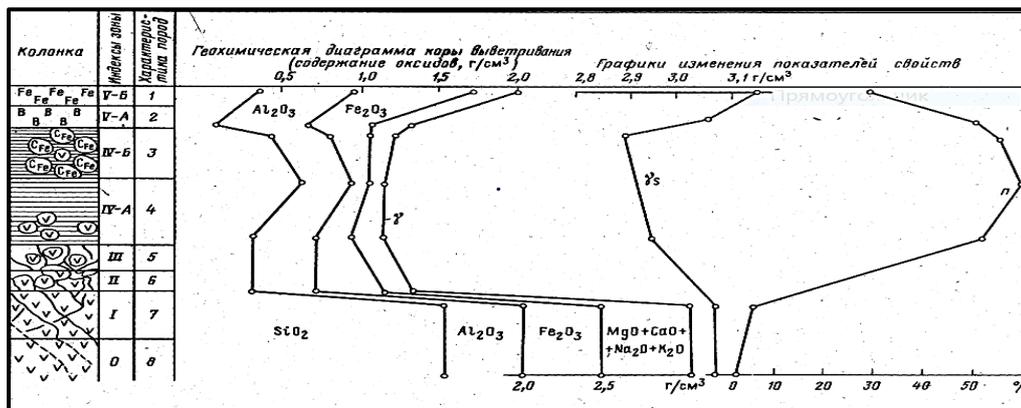


Рисунок 2. Строение, состав и свойства коры выветривания долеритов Гвинеи и характеристика пород по зонам: 1 — кавернозная порода, сцементированная Fe₂O₃ nH₂O; 2 — структурный боксит; 3 — глины красноцветные с железистыми конкрециями и обломками структурного боксита; 4 — глины, суглинки пестроцветные с структурно-текстурными признаками

материнских пород, с ядрами сохранных долеритов; 5 — хрупкий, охристо-желтый ферралит с признаками структуры долеритов; 6 — глыбы долеритов, разобщенные глинами и ферралитом; 7 — долериты сильно трещиноватые, замещенные ферралитом вдоль трещин; 8 — долерит слабо трещиноватый

Выполненное автором опробование латеритовых и бокситоносных кор выветривания на территории Гвинеи (схема опробования приведена на рисунке 1) позволяет детально исследовать и установить закономерности формирования состава и свойств пород коры выветривания, сформированных на породах разного минерального состава, а также выявить роль процесса выветривания в формировании четвертичных грунтов различных генетических типов.

Выводы

Специфическими чертами пород латеритной коры выветривания являются:

- четко выраженная пространственная изменчивость пород в вертикальном направлении, обуславливающая зональность коры выветривания, строение ее профиля;
- неоднородность минерального состава и физико-механических свойств в пределах отдельных зон: литомаржа, дисперсной, вторичной цементации за счет аккумуляции окислов алюминия и железа.

Однозначная зависимость (при прочих равных условиях) строения коры выветривания от состава и структурно-текстурных особенностей определяет направленность инженерно-геологических исследований автора: установление зональности строения и закономерности изменчивости свойств пород латеритных кор выветривания территории Гвинеи, определяющие региональные инженерно-геологические условия страны. Решение подобных вопросов являются весьма актуальными при оценке условий строительства сооружений различного назначения.

Благодарности

Автор приносит слова благодарности за ценные советы моему научному руководителю проф., доктор геол.-минерал. наук Людмиле Александровне Ярг и декану ГГФ, канд. геол.-минерал. наук Невечеря Вадиму Вадимовичу.

Библиография

1. Мамедов В. И., Буфеев Ю. В., Никитин Ю.А. Геология Гвинеийской республики. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 2011, . – 341 с.
2. Камаре С.С., Невечеря В.В., Ярг Л.А. Специальная инженерно-геологическая карта распространения эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинеийской республики. – // Геология и разведка. 6/2023, . – С.26-40.
3. Ярг Л.А., 2014. Эволюция кор выветривания Земного шара. //Геология и разведка. 5/2014, . – с.53-74.
4. Ярг Л.А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания. М.: Недра, 1987, – 237с.
5. Ballais J.L., et al. La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables // PhysioGéo (www.physio-geo.fr), collection "Ouvrages". – 2011. – 168 p.

Изучение прочности глинистого вяжущего фундаментов Симонова монастыря в Москве

Докладчик Капитанов А.Д. (МГРИ, artem_lobnya@mail.ru),*

соавтор Буфеев Ф.К. (МГРИ, ИГЭ РАН),

соавтор Наумов М.А. (МГРИ)

Аннотация

Данная работа посвящена изучению свойств глинистого заполнителя фундаментов сооружений Симонова монастыря в Москве и привлечению внимания к отсутствию нормативной базы для данного типа заполнителя.

В теоретической части приводятся различные технологии возведения фундаментов памятников русской архитектуры. Рассматриваются существующие нормативные документы для определения несущей способности фундаментов.

Далее рассматриваются свойства глинистого заполнителя на примере конкретного сооружения из ансамбля строений Симонова монастыря и делаются выводы.

Ключевые слова

Бутовый фундамент, глинистый заполнитель, памятники архитектуры, фундаменты.

Теория

При изучении фундаментов и грунтов оснований объектов культурного наследия конечной целью является оценка несущей способности фундаментов и грунтов оснований. Под несущей способностью фундаментов подразумевается величина максимально допустимой нагрузки, которую сможет выдержать кладка без разрушения и потери функциональности. На это влияют материалы сооружения, вес конструкции, типы и форма фундаментов, состав и прочность материалов кладки фундамента.

Значительная часть фундаментов памятников русской архитектуры выполнена из природных материалов и поэтому особый интерес представляет изучение их состава, свойств и состояния.

Фундаменты русских памятников архитектуры

В строительстве фундаментов памятников русской архитектуры можно выделить три характерных периода [1]:

- Первый – это домонгольская эпоха. Для фундаментов данной эпохи характерно ленточное строение, возведённое по системе фундаментного рва трапецевидной формы. Им присуще неглубокое заложение (в исключительных случаях превышающее 1-1,5м). Ширина подошвы была приблизительно 2-3м. В качестве материала использовали валуны магматических или метаморфических пород и бутовый камень из известняка, доломита, песчаника. Для скрепления конструкций фундамента использовался известково-цемяночный раствор.

- Второй период длился с XVI–XIX вв. Для сооружений данной эпохи также характерны ленточные фундаменты, возведённые по технологии фундаментного рва, но с существенным отличием. Теперь перед забутовкой dna траншеи производилась мелиорация грунтов, а именно забивка уплотнительных деревянных свай-коротышей. Также постепенно увеличивалась глубина заложения фундаментов, она со временем менялась от 2 до 3,5м. Материалами служили валуны магматических или метаморфических пород и бутовый камень из известняка, доломита, песчаника. Также широко использовали обработанные блоки из известняка и доломита, с конца XVII века начинается применяться кирпич. В качестве вяжущего использовали известково-песчаный и глинистый растворы.

- Третий период начинается с конца XIX век. Для фундаментов данной эпохи характерен переход от валунов и бута к керамическому полнотелому кирпичу, но дно траншеи по-прежнему укладывали блоками известняка. Также прослеживается тенденция заглубления

фундаментов на большие отметки, по сравнению с предыдущими периодами. В качестве вяжущего используют известково-песчаный раствор и романский цемент.

Определение прочностных характеристик фундаментов

В настоящий момент основным нормативным документом для определения прочностных характеристик фундаментов памятников архитектуры является СП 15.13330.2020 “Каменные и армокаменные конструкции”.

Прочностные характеристики каменных материалов кладки определяют испытанием образцов и проб, взятых непосредственно из тела обследуемой конструкции или близлежащих участков [2]. Отбор кирпича, камня и раствора из стен и фундаментов производят из ненесущих или слабонагруженных элементов, или конструкций, подлежащих разборке и демонтажу. Для оценки прочности кирпича, камня правильной формы и раствора из кладки стен и фундаментов отбирают целые, неповрежденные кирпичи или камни и пластинки раствора из горизонтальных швов. Для определения прочности природных камней неправильной формы (бута) из фрагментов камней выпиливают кубики с размером ребер 40-200 мм или высверливают цилиндры диаметром 40—150 мм и высотой, превышающей диаметр на 10-20 мм.

Лабораторные исследования проводят на основании ГОСТ 5802 “Растворы строительные. Методы испытаний для растворов” и ГОСТ 8462 “Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе для кирпича и блоков из природных материалов.

Указанные нормативы имеют один существенный недостаток. Они совершенно не учитывают то, что фундаменты памятников русской архитектуры часто возводились с использованием глинистого вяжущего, которому не нашлось место в ГОСТах и СП. Следовательно, оценить несущую способность растворов, выполненных из природных глинистых грунтов, не предоставляется возможным. В СП каменные и армокаменные конструкции приведён ряд таблиц [3], по которым определяется несущая способность кладки в зависимости от марки камня и раствора по прочности. Марка как кирпича и природного камня, так и раствора определяется по результатам статистической обработки выборки, представленной результатами определения прочности на одноосное сжатие указанных материалов. А глинистый раствор в швах находясь в пластичном состоянии не имеет той прочности на одноосное сжатие, о которой принято говорить при изучении материалов с кристаллизационными структурными связями.

Авторы выполняли работы по обследованию фундаментов и грунтов основания сооружений Симонова монастыря, расположенного в Даниловском районе ЮАО города Москвы. На объекте были вскрыты фундаменты, в которых в качестве вяжущего выступает глинистый материал. Отбор образцов раствора выполнялся авторами доклада, с последующим изучением его свойств в грунтовой лаборатории кафедры инженерной геологии МГРИ.

Описание объекта

Симонов монастырь - это древняя обитель с богатой историей. Был заложен в 1370-ых годах учеником Сергия Радонежского, преподобным Феодором Симоновским. За время своего существования монастырь пережил множество взлётов и падений, был несколько разграблен, но всегда восстанавливался. Когда-то его называли “жемчужиной Москвы”, но в 1930 году две трети сооружений были взорваны. В настоящее время на территории монастыря сохранились три башни, часть крепостных стен, несколько построек разного времени постройки, а также действующий храм в честь Тихвинской иконы Божией матери 1677-1680гг постройки, фундаменты которого были обследованы.

Фундаменты храма являются ленточными, с глубиной заложения 1,5-2,5 под разными частями сооружения. Представлены рядной кладкой блоков известняка грубой и чистой тёски на глинистом растворе. Ширина швов варьируется от 2 до 10 см. На этой кладке лежат ряды пиленных блоков известняка и блоки известняка чистой тёски на известково-песчаном растворе (Рис.1). Роль грунтов основания выполняют аллювиально-флювиогляциальные отложения 3-й

надпойменной террасы р. Москвы (a,fQII ms) представленные песками средней крупности с включением гальки различной степени окатанности и среднечетвертичные ледниковые отложения Московского горизонта (gQII ms) представленные тугопластичным суглинком.



Рисунок 1. Рядная кладка блоков известняка на глинистом растворе

В результате лабораторных исследований были получены пределы прочности на одноосное сжатие для известняка, кирпича и известково-песчаного раствора, которые равны 15,92; 5,53 и 1,54 МПа соответственно. Но так как для глинистого заполнителя не существует нормативной базы, то исследований для него не проводилось и в расчётах прочности кладки он не учитывался.

Определение свойств глинистого заполнителя

Для исправления этой неточности из кладки блоков известняка были отобраны пробы глинистого заполнителя, для дальнейшего изучения его свойств в грунтовой лаборатории. По результатам опытов, проведённых в грунтовой лаборатории кафедры инженерной геологии МГРИ, были получены следующие данные для глинистого вяжущего: плотность грунта $\rho = 2.15$ г/см³; плотность твёрдых частиц грунта $\rho_s = 2.68$ г/см³; плотность скелета грунта $\rho_d = 1.89$ г/см³; пористость $n = 29.4$ %; коэффициент пористости $e = 0.418$; влажность грунта $W = 13.6$ %; гигроскопическая влажность $W_g = 1.2$ %; влажность грунта на границе раскатывания $W_p = 10$ %; влажность грунта на границе текучести $W_L = 20.9$ %; число пластичности $I_p = 0.109$; показатель текучести $I_L = 0.328$; коэффициент водонасыщения $S_r = 0.876$. Следовательно, данный глинистый заполнитель является тугопластичным суглинком. Все испытания глинистого раствора проводились в соответствии с ГОСТ 5180-2015 “Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик” [4], так как в данном случае логично исследовать его как грунт.

Определение модуля деформации суглинистого заполнителя бутового фундамента выполнялось в приборе трехосного сжатия по специальной методике, которую разработал доцент кафедры инженерной и экологической геологии МГУ Анатолий Юрьевич Мирный.

Испытываемые образцы имели следующую форму - диаметр 38 мм, высота 10-15 мм, что связано с невозможностью отбора из кладки фундамента образцов размером требуемому по ГОСТ 12248.3. На пьедестал камеры трехосного сжатия типа А устанавливалась металлическая болванка 38x76 мм (без нижнего фильтровального элемента). На болванку помещалась

фильтровальная бумага и образец грунта. Далее на верхнюю часть образца устанавливались фильтровальная бумага, фильтровальным элементом и верхний штамп. С помощью расширителя на всю сборку надевается мембрана.

Схема испытания:

1) На этапе изотропной консолидации в камере создается давление, равное ожидаемой вертикальной нагрузке (условно распределенному весу сооружения) с учетом K_0 (в данном случае, для тугопластичного суглинка – 0,7). Этап консолидации выдерживается 12 часов.

2) Далее осуществляется ступенчатое нагружение со стабилизацией каждой ступени не менее 6 часов. Ступень вертикальной нагрузки – 50% от давления в камере.

3) Опыт продолжается до предельной деформации образца 5-6 мм.

Среднее значение модуля деформации по результатам трёхосных испытаний составило $E_{ср} = 14,5$ МПа.

Также на кафедре инженерной геологии МГРИ был отремонтирован и оттарирован прибор одноосного сжатия ВСЕГИНГЕО ОСВ-1. В результате испытаний глинистого заполнителя было определено, что характер разрушения хрупкопластический, а сопротивление одноосному сжатию равняется $R_{сж} = 0.12$ МПа.

Выводы

По результатам исследований, выдвинутая гипотеза о том, что глинистый раствор обладает достаточной прочностью, чтобы учитывать его при расчётах несущей способности фундаментов, оказалась неверной.

Но несмотря на это, глинистый заполнитель обладает достаточной прочностью, чтобы воспринимать нагрузки от сооружения и данное значение не следует приравнивать нулю, как этого требуют нормативные документы, поэтому необходима разработка специальных методов оценки несущей способности фундаментов на глинистом растворе.

Библиография

1. Пашкин Е. М «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры». ФАУ «РосКапСтрой». М., 2022.
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений
3. СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» (актуализированная редакция СНиП 11-22-81)
4. ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»

Особенности изучения грунтов основания объекта культурного наследия регионального значения «Театр Тиволи. Здесь в 1920 г. выступал Ленин В.И., кон. XIX – нач. XX вв., 1926 г., 1970–е гг.»

Кедич А.И. (МГРИ, annkedich30@yandex.ru),
Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru)*

Аннотация

В докладе рассмотрены инженерно-геологические условия объекта культурного наследия регионального значения «Театр Тиволи. Здесь в 1920 г. выступал Ленин В.И., кон. XIX – нач. XX вв., 1926 г., 1970–е гг.», расположенного по адресу: г. Москва, Сокольническая площадь, д. 7.

Особенность изучаемого объекта являются грунты основания, представленные пылеватými песками, предрасположенными к разжижению при динамических воздействиях. Театр «Тиволи» находится внутри трамвайного кольца. Кроме того, на расстоянии 300 м проходит тоннель Сокольнической линии метро.

Ключевые слова

Инженерно-геологические изыскания, объект культурного наследия, грунты, разжижение грунта, пловунное состояние, тиксотропия, вибрация.

Теория

Разжижение грунта – процесс, вследствие которого грунт ведет себя не как твердое тело, а как плотная жидкость, переход водонасыщенного дисперсного грунта в текучее (пловунное) состояние под внешним воздействием (статическим, динамическим, фильтрационным). Впервые термине «разжижение» был употреблен А. Хазеном в 1920 г. Разжиженные грунты, в отличие от ложных пловунов (псевдопловунов), которые не имеют связность ни при каких условиях и переходят в подвижное состояние за счет гидродинамического давления, обладают структурной прочностью при одних условиях и теряют ее при других.

Процесс разжижения включает в себя три стадии:

- разрушение структуры грунта вследствие динамического или монотонного статического нагружения достаточного уровня;
- перераспределение напряжений со скелета грунта на поровую воду, возникновение избыточных поровых давлений и, как следствие, уменьшение сопротивления сдвигу;
- восстановление структуры и постепенное уплотнение грунта, момент наступления которого связан с оттоком поровой жидкости и диссипацией порового давления., нагрузки, действующие на грунт, снова начинает воспринимать минеральный скелет.

Характерной особенностью грунтов, обладающих пловунными свойствами, является их способность к обратным переходам из твердого состояния в текучее под воздействием динамической нагрузки при неизменных влажности и температуре, а после прекращения вибрации – самопроизвольное возвращение в свое первоначальное состояние. Эта способность носит название тиксотропных превращений, или тиксотропии [1].

Необходимым условием проявления в грунтах пловунных свойств является полное отсутствие у них структурных связей химической природы и ионно-электростатических связей, либо их резкое ослабление под действием динамических нагрузок [4].

Выделяют несколько групп грунтов, способных проявлять пловунные свойства, к ним относятся грунты с конденсационно-коагуляционными структурными связями. Жесткие конденсационные связи создаются коллоидными частицами, резко ослабляются в воде и переходят в коагуляционные связи. Прочность коагуляционных связей определяется влажностью: при невысокой влажности прочность достаточно велика, при весьма высокой – снижается вплоть до полной потери сопротивления сдвигу. В некоторых промежуточных

значениях влажности грунты имеют неустойчивое состояние и легко переходят от диспергеции к коагуляции и обратно при динамических воздействиях. Внутри этого типа грунтов также выделяется несколько разновидностей по гранулометрическому составу, одна из которых – пылевато-коллоидные. К ней относятся водонасыщенные массы с достаточно прочными связями между цементируемыми пылеватыми частицами, что объясняет их ярко выраженные тиксотропные свойства [1].

Театр организован в 1912 году. «Тиволи» был одной из самых значимых сценических площадок с 1912 по 1917 гг. После революции 1917 года в здании стали периодически проводить крупные общественные мероприятия. В январе 1987 года в здании организован Университет марксизма-ленинизма. Архитектурный стиль объекта культурного наследия – классицизм.

При выполнении инженерно-технического обследования фундаментов и грунтов основания инженерно-геологических изысканиях на объекте культурного наследия регионального значения «Театр Тиволи», расположенного по адресу: г. Москва, Сокольническая площадь, д. 7, сотрудниками общества с ограниченной ответственностью «Реставрационно-строительная компания «Архитектурное наследие»» в феврале 2024 года были выполнены следующие виды работ: проходка инженерно-геологических шурфов ручным способом; бурение скважин алмазного сверления диаметром 62 мм; отбор проб грунтов с нарушенной структурой и отбор монолитов; фотофиксация вскрываемых конструкций; полевые исследования грунтов методом статического зондирования; плановая и высотная привязка горных выработок; полевое определение плотности грунтов; определение физических свойств грунтов; определение механических свойств грунтов; лабораторное изучение прочностных свойств материалов фундаментов; камеральная обработка материалов исследований; разработка рекомендаций по оптимизации условий эксплуатации строительных конструкций памятника.

Обследование фундаментов и грунтов основания выполнялось в соответствии с ГОСТ Р 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и СП 13-102-2003. «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [2, 5].



Рисунок 1. Театр Тиволи на Сокольнической площади

В процессе работ было установлено, что грунтами основания являются флювиогляциальные отложения московского горизонта (fQIIms), представленные песками

мелкими и пылеватыми средней степени водонасыщения и суглинком тугопластичным. При проходке шурфов пылеватые пески проявляли пльвунные свойства.

В соответствии с требованиями пункта 7.2.24.4 СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» необходимо выполнять динамические испытания для определения сейсмической разжижаемости, потери прочности и деформируемости грунтов, однако согласно действующей карте ОСР Московский регион относят к зоне, где сейсмичность равна 5 баллам, соответственно проводить дополнительные работы нет необходимости. В том же пункте сказано о том, что вблизи внешних источников динамических нагрузок от транспорта или промышленного оборудования, выполняют динамические испытания для определения характеристик виброползучести грунтов основания. Вследствие этого были проведены геофизические исследования по определению уровня природных и техногенных вибраций на конструкциях и грунтах в основании здания. В ходе полевых работ выполнено 3 точки измерений вибраций. Обработка данных выполнялась по положениям ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» [3, 7].

В процессе эксплуатации здания подвергаются воздействию вибрации техногенной природы, вызванной деятельностью человека, движением транспорта и строительными работами. Вибрация оказывает на конструкцию здания механические воздействия, вызывая тем самым изменение её состояния. Помимо изменений состояния самой конструкции вибрация вызывает изменения свойств грунта, на котором установлено здание. К наиболее опасным явлениям относится разжижение грунта и потеря им несущей способности под воздействием вибрации. Особенно это относится к слабосвязанным водонасыщенным почвам.

Для работ по измерению фактического уровня вибрации использовался 4-х канальный регистратор сейсмических сигналов Дельта-03М и 3-х компонентный сейсмоприёмник велосиметр трёхкомпонентный СПВ-3К. Данная сеймостанция предназначена для автоматической регистрации сейсмических сигналов от естественных и искусственных источников сейсмических колебаний, включая проведение региональных сейморазведочных работ, сейсмомикрорайонирования и вибродиагностических работ. Сейсмоприёмник велосиметр трёхкомпонентный СПВ-3К предназначен для преобразования скоростей, действующих вдоль измерительных осей сейсмоприёмника, в пропорциональные электрические сигналы. Обработка полевых данных проводилась с помощью программного комплекса «MicroSeisTools».

В большинстве случаев при оценке риска повреждения конструкции здания вследствие воздействия на него вибрации техногенной природы достаточно проводить анализ в диапазоне частот от 1 до 150 Гц. Однако движение дорожного (рельсового) транспорта создаёт вибрации в диапазоне 1–80 Гц, поэтому частотный состав анализировался именно в этом диапазоне.

Полевые исследования методом статического зондирования показали, что отсутствуют пески рыхлые, пески средней плотности водонасыщенные и связные грунты с показателями консистенции I_L выше 0,5.

Выводы

Таким образом, несмотря на подверженность пылеватых песков к разжижению, результаты вибродинамических наблюдений, проведенные на объекте культурного наследия регионального значения театра «Тиволи», показали, что максимальное измеренное значение виброскорости составляет около 0,7 мм/с, что меньше уровня в 15 мм/с. Средний уровень значений виброскорости составляет 0,04 мм/с, что меньше уровня в 2 мм/с. Уровень вибраций на грунте не превышает предельно допустимых значений, указанных в СП 22.13330.2011. «Основания зданий и сооружений» [6]. Следовательно, нет необходимости производить расчёт длительных осадков от совместного действия статических и динамических нагрузок (виброползучести). А данные, полученные после проведения полевых исследований грунтов методом статического зондирования, указывают на высокую плотность сложения.

Библиография

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика, М.: КДУ, 2009. 440с.
2. ГОСТ Р 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».
3. ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию».
4. Сергеев Е.М. Инженерная геология, изд. 2. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1982. 248с., с ил.
5. СП 13-102-2003. «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
6. СП 22.13330.2011. «Основания зданий и сооружений».
7. СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»

*Инженерно-геологические проблемы музеефикации объекта культурного наследия
«Археологическая стоянка нижнего палеолита Дириг-Юрях» в Республике Саха (Якутия)
Кольцова В.М.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе, koltsovavm@mgri.ru),
Вязкова О.Е. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе, vuzkovaoe@mgri.ru)*

Аннотация

В работе проанализированы компоненты инженерно-геологических условий в районе расположения археологической стоянки Дириг-Юрях в Якутии, их современное влияние на функционирование природно-археологической системы (ПАС). По результатам анализа приведены рекомендации по дальнейшему исследованию памятника перед музеефикацией.

Ключевые слова

Стоянка Дириг-Юрях, природно-археологическая система (ПАС), инженерно-геологические условия, музеефикация.

Теория

Одним из уникальных археологических памятников, находящихся на территории Республики Саха (Якутия), является стоянка Дириг-Юрях, по материалам которой выделена диригская культура древнейшего палеолита, открытая Ю.А. Мочановым и С.А. Федосеевой в 1982 г. Согласно Акту государственной историко-культурной экспертизы (№ 04/18), стоянка расположена на правом берегу р. Лены, на правом мысу руч. Дириг-Юрях, примерно в 114 км к юго-западу от г. Якутска и примерно в 14 км к юго-западу от с. Булгунняхтах (рисунок 1).

Исследования на Дириге проводились с 1982 г. по 1999 г. За это время стоянку посетили десятки исследователей из разных областей, в том числе геологи, мерзлотоведы, геофизики и т.д. Площадь раскопок составила 36 250 м², в них входят 6 раскопов, 11 траншей, 50 шурфов.

Относительно возраста стоянки Дириг-Юрях существует много различных мнений. По мнению первооткрывателя памятника Ю.А. Мочанова возраст объекта составляет 2,5–1,8 млн.л.н. [5].

3 декабря 2023 года на Международной научной конференции «Время переходов: смена эпох и культур в палеолите» Института истории материальной культуры (ИИМК РАН) был представлен доклад Лукьянычевой М.С., Курбанова Р.Н., Анойкина А.А., Кирьянова Н.С., Панина А.В., Васильевой А.Н., Викуловой Н.О. «Новые данные о возрасте раннепалеолитической стоянки Дириг-Юрях», где были приведены новые данные о возрасте, полученные при применении люминисцентного и космогенного методов датирования. Впервые при сочетании двух методов были определены хронологические рамки диригской культуры – 426–396 тыс.л.н.

При рассмотрении возможности музеефикации сложной природно-археологической системы (ПАС) [1] «Стоянка Дириг-Юрях», необходимо проанализировать инженерно-геологические условия района ее расположения.

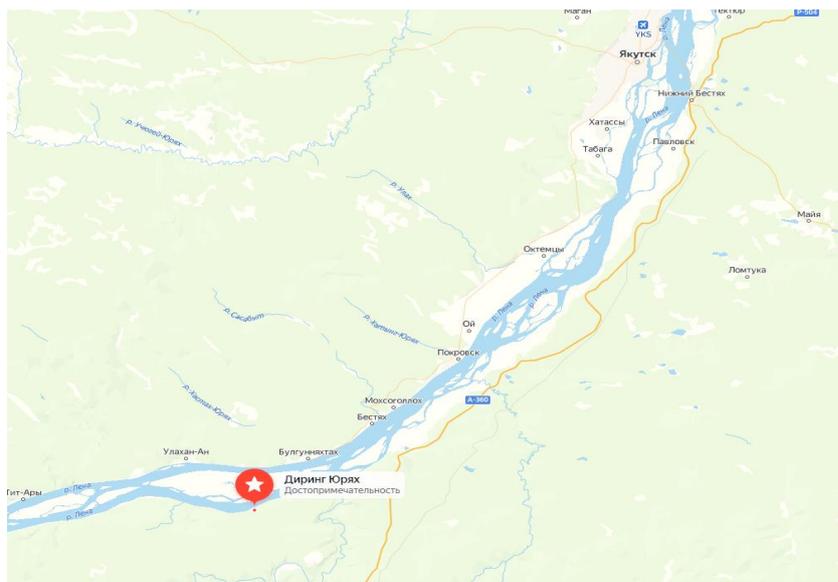


Рисунок 1. Расположение стоянки Диринг-Юрях

Климат района резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура воздуха составила (-7,9 °С). Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца – января, (-38,2 °С), а самого теплого – июля – 19 °С. Абсолютный минимум составил (-45,5 °С), абсолютный максимум – 37 °С. Среднегодовая температура поверхности почвы составила (-10 °С). Средняя температура поверхности почвы наиболее холодного месяца – января (-39,5 °С), а самого теплого – июля – 25,5 °С. Абсолютный минимум составил (-62 °С), абсолютный максимум – 52 °С. Годовое количество осадков составляет 251 мм, причем большая их часть (около 70%) выпадает с мая по сентябрь (рисунок 2). Снежный покров устанавливается в середине октября и сохраняется до начала мая при средней высоте снежного покрова 29 см. Плотность снежного покрова в лесу составила 160 кг/м³, в поле – 180 кг/м³. Число дней со снежным покровом составляют 205 дней [6].

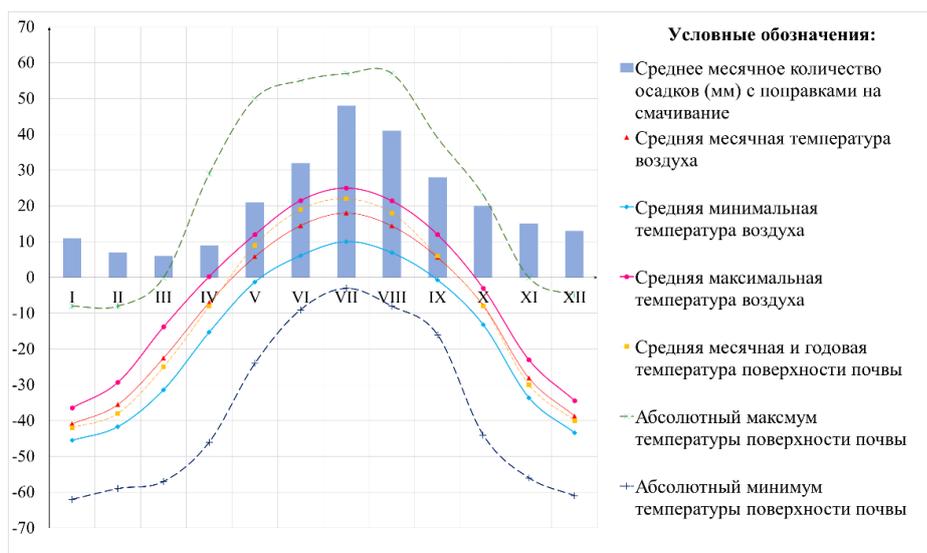


Рисунок 2. Средние месячные температуры воздуха, почвы и атмосферные осадки [6]

В районе Диринг-Юряха были выделены террасы с высотами 10 м, 70 м, 90 м, 105–120 м, 125–135 м, 140–165 м (рисунок 3). Культурные остатки древнейшего палеолита на стоянке залегают на отложениях самой древней (VIII) террасы Лены – табагинской [5]. В районе Диринг-Юряха данная терраса является цокольной. Высота цоколя, представленного среднекембрийскими известняками, достигает 105 м от меженного уреза Лены. На нем залегают аллювиальные отложения эрозивно-аккумулятивного табагинского цикла.

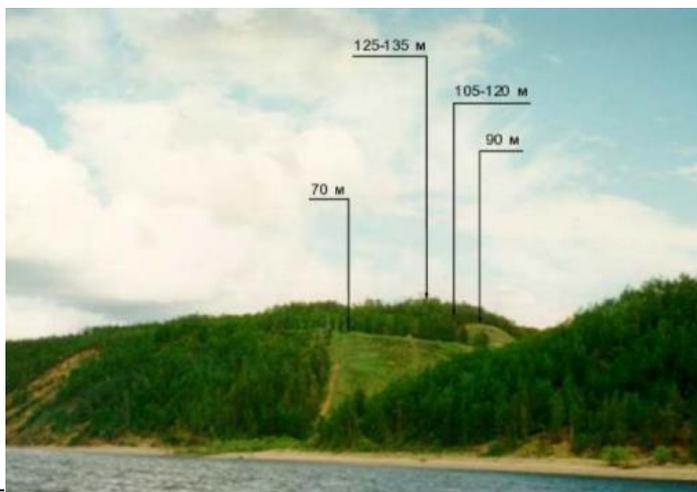


Рисунок 3. Вид с Лены на приустьевой участок Диринг-Юряха с высотами террас [5]

Основу *речной сети* составляют река Лена и ее притоки – р. Буотама и руч. Диринг-Юрях. Исследуемый объект располагается в среднем течении реки, где ее глубина достигает до 10–12 м. От устья р. Олёкма до г. Покровска долина реки Лена узкая с отвесными и расчленёнными склонами из известняка. Скорость течения 0,9 м/с. Уклон реки составляет 6 см/км.

Ручей Диринг-Юрях, протяженностью 5,7 км, протекает на расстоянии 300–315 м юго-западнее исследуемого объекта. Абсолютная отметка истока ручья составляет 220 м, а устья – 94,4 м. Уклон ручья достигает 22 м/км.

В *геологическом* строении принимают участие образования палеозоя и кайнозоя. Нижняя часть склона сложена породами усть-ботомской свиты среднекембрийского возраста (известняки, доломитистые известняки, мергель серый и зеленовато-серый, обломочный известняк). Кровля свиты денудирована [4].

На кембрийских породах залегают отложения черендейской свиты верхнеплиоценового-нижнечетвертичного возраста, представленные аллювием седьмой надпойменной террасы реки Лена, сложенные галечниками и песками [4].

В *тектоническом* отношении исследуемый район находится в пределах Алданской антеклизы, занимающей юго-восточную часть Сибирской платформы. Она представляет собой обширное сводоподобное поднятие, в пределах которого на большей площади развиты архейские кристаллические породы фундамента платформы, протерозойские и кембрийские отложения. Кайнозойские образования имеют подчиненное значение, они слагают маломощный чехол на склонах антеклизы [2].

В *геоморфологическом* отношении стоянка находится в пределах Лено-Алданского плато Алданского щита. Мыс, на котором расположен памятник, имеет ступенчатый, террасированный рельеф (рисунок 3).

В *гидрогеологическом* отношении исследуемый район находится в пределах Якутского артезианского бассейна, входящего в состав Восточно-Сибирской артезианской провинции [3]. На момент исследования воды кайнозойских отложений не были выявлены.

Многолетнемерзлые породы (ММП) имеют сплошное распространение в пределах исследуемого района, мощностью от 100 до 500 м. Сплошность толщи ММП нарушается многочисленными таликами под руслом р. Лена. На водораздельных поверхностях Лено-Алданского плато преимущественно распространены талые породы в связи с интенсивной инфильтрацией теплых летних осадков и циркуляции по трещинам и карстовым полостям воздушных масс [3]. На момент исследований ММП не выявлены. Предположительно, кайнозойские отложения в пределах территории памятника являются морозными.

Участок расположения стоянки характеризуется распространением *экзогенных геологических процессов*, таких как криогенное выветривание, карст, речная и овражная эрозия и эоловые процессы.

Каковы же проблемы музеефикации памятника? Сейчас исследователям доподлинно не известны состав и свойства песков, слагающих природно-археологическую систему (ПАС), механизм и интенсивность развития экзогенных геологических процессов, гидрогеологические и геокриологические условия.

Для получения ответов на эти вопросы рекомендуется проведение научно-исследовательских инженерно-геологических работ. Только по результатам этих исследований должны быть сделаны выводы о возможности или невозможности музеефикации памятника в условиях естественного ландшафта, что является предпочтительным для археологов.

Процесс музеефикации необходимо строго выверять для того, чтобы обеспечить сохранность природно-археологической системы (ПАС) и не ухудшить условия, в которых она сейчас функционирует.

Выводы

На данный момент времени, учитывая особенности инженерно-геологических условий ПАС, музеефикация в естественных условиях, скорее всего, невозможна. С развитием техники и технологий через десятки лет могут возникнуть новые методы музеефикации памятников, и тогда можно будет вернуться к этому вопросу на более высоком уровне.

Библиография

1. Вязкова О.Е. Природно-археологические системы: понятие, структура, этапы формирования и функционирования // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2015. № 6. С. 57–59.
2. Геология СССР, том XVIII, Западная часть Якутской АССР. Часть I. Геологическое описание. Книга 2. Коллектив авторов. М., изд-во «Недра», 1970 г., 256 с.
3. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 3. Восточная Сибирь. Изд-во Моск. ун-та, 1977 г. 657 с.
4. Лебедев И. О., Козлов Г. А., Молчанов А. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Анабаро-Вилуйская. Лист Р-52 – Якутск. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. – 290 с. : ил. + 2 вкл. – ISBN 978-5-00193-375-5 (объясн. зап.). – ISBN 978-5-00193- 376-2.
5. Мочанов Ю.А., Федосеева С.А. Стоянка древнейшего палеолита Диринг-Юрях в Якутии и проблема внетропической прародины человечества // Известия лаборатории древних технологий. – Иркутск: ИрГТУ, 2007. – Вып. 5. – С. 75–99.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, Многолетние данные / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Белорусское респ. упр. по гидрометеорологии и контролю природной среды. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987. Вып. 24, кн. 1: Якутская АССР. кн. 1 / Якутское террит. упр. по гидрометеорологии. – 1989. – 607 с.

Разработка эколого-гидрологической модели защиты водоносных горизонтов при рекультивации карьеров нерудного сырья

Комаров Е.И. (МГРИ, e.i.komarov@rambler.ru),
Федотова В.П. (МГРИ, fedotovavp@mgri.ru),
Игумнов А.А. (МГРИ, alexandr.recolor@gmail.com)*

Аннотация

Метод парных сравнений инфильтрационной и поглощательной способности почвенных комплексов месторождений нерудного сырья в периоды до освоения месторождений и после рекультивации карьеров позволяет определять рациональные параметры защиты водоносных горизонтов и совершенствовать технологические схемы рекультивации карьеров, обеспечивающих восстановление плодородия почв для лесо- и сельскохозяйственного использования.

Ключевые слова

Загрязнения, почвы, водоносные горизонты, защита, рекультивация карьеров.

Теория

В настоящее время одной из наиболее острых становится проблема защиты безнапорных водоносных горизонтов, расположенных в густонаселенной европейской части России, где по данным Института водных проблем РАН в ближайшее десятилетие наступит дефицит питьевой воды [1].

При транспортной системе разработки нерудных месторождений, в том числе с применением буровзрывных работ, все поверхности обнажения горных пород подвержены интенсивному загрязнению токсичными микроэлементами различных металлов и нефтепродуктами, зачастую превышающими установленные предельно допустимые концентрации [2, 3].

В настоящее время рекультивация нарушенных земель направлена исключительно на восстановление плодородия поверхностного слоя почвы с нейтральным уровнем кислотности, благоприятным для выращивания лесо- и сельскохозяйственных культур [4, 5], однако при выполаживании бортов карьеров до уровня охранных целиков не обеспечивается защита безнапорных водоносных горизонтов, являющихся основными источниками пресной питьевой воды для вблизи проживающего населения.

При бурении геологоразведочных скважин для изучения строения месторождений осуществляется отбор проб, по которым определяются разновидности почвенных комплексов и массивов добываемых пород, их мощности и гидрогеологические условия, а в лабораторных условиях - коэффициенты пористости и фильтрации (таблица 1), а также емкости катионного обмена преобладающих элементов (таблица 2) [6-8].

Таблица 1

Коэффициенты пористости и фильтрации разновидностей почв

Разновидности почв	Коэффициент пористости P_i , доли ед.	Коэффициент фильтрации K_i , м/сутки
Пески глинистые	менее 0,55	0,08 – 1,5
пылеватые	0,6 – 0,8	0,5 – 1,0
мелкозернистые	0,6 – 0,75	1 – 5
среднезернистые	0,55 – 0,7	5 – 20
крупнозернистые	0,55 – 0,7	20 - 50

Супесь глинистая	0,4 – 0,5	0,1 – 0,7
Суглинок легкий тяжелый	0,7 – 1,0 0,5 – 0,7	0,05 – 0,1 0,005 – 0,05
Глина	0,6 – 0,65	менее 0,001

Таблица 2

Содержание обменных катионов в некоторых почвах ЦФО РФ

Тип почвы	Глубина опробования, см	Содержание обменных катионов, мг-экв/100 г почв			
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ и Al ³⁺
Серая лесная	10	17,9	4,0	-	0,5
	30	15,8	4,9	-	0,5
	90	17,1	6,9	-	0,6
	130	17,6	8,2	-	0,2
	200	17,3	9,3	-	0,3
Чернозем типичный	10	43,9	9,6	0,1	-
	80	27,8	9,6	0,05	-
	170	27,6	9,5	0,05	-

Для обоснования параметров защиты водоносных горизонтов от загрязнений при рекультивации нерудных карьеров воспользуемся методом парных сравнений инфильтрации почвенных комплексов и их поглотительной способности в периоды до освоения месторождений и после рекультивации.

Поскольку зона аэрации на рассматриваемых участках разработки месторождений характеризуются неоднородным строением, целесообразно определение средневзвешенного коэффициента фильтрации по геологическим разрезам по формуле

$$K_{cp} = \sum(h_i k_i) / \sum h_i, \quad (1)$$

где h_i и k_i – значение соответственно мощности ($h_{псп}$) и коэффициента фильтрации ($k_{псп}$) плодородного слоя почв, потенциально-плодородных ($h_{ппп}$ и $k_{ппп}$) и неплодородных ($h_{нпп}$ и $k_{нпп}$) почв зоны инфильтрации, принимаемые на основании геологических и справочных данных таблицы 1;

$\sum h_i$ – мощность зоны аэрации до разработки месторождения

$$h_0 = \sum h_i = h_{псп} + h_{ппп} + h_{нпп}, \quad (2)$$

Для расчета продолжительности времени инфильтрации поверхностных вод через почвенные комплексы (T_0) воспользуемся известной зависимостью, которая применяется при многофакторной оценке защищенности водоносных горизонтов в нефтегазовой отрасли [9, 10]

$$T_0 = \sum T_i = h_i P_i / (K_{cp}^2 k_i)^{1/3}, \quad (3)$$

где P_i – значение коэффициентов пористости плодородного слоя ($P_{псп}$), потенциально-плодородных ($P_{ппп}$) и неплодородных почв ($P_{нпп}$) зоны аэрации до данным лабораторных исследований (см. табл. 1).

При методе парных сравнений продолжительность времени инфильтрации поверхностных вод через восстановленный слой почв (T_p) должна быть не менее продолжительности времени инфильтрации через первоначальный почвенный комплекс ($T_б$), т.е.

$$T_p \geq T_б. \quad (4)$$

Для обеспечения данного условия при рекультивации необходимо стремиться к снижению средневзвешенного коэффициента фильтрации почвенного комплекса K_p за счет увеличения мощности его отдельных слоев и уменьшения общей площади рекультивации или уплотнения песков и супесей в процессе рекультивации, например, путем периодического полива воды для достижения коэффициента пористости 0,6-0,65.

Химическая поглотительная способность является наиболее значимой способностью почвы удерживать ионы посредством образования нерастворимых соединений, а также переводить анионы и катионы почвенного раствора загрязнителей, особенно тяжелых металлов, в труднорастворимые вещества. Как показывает практика, динамика изменения емкости катионного обмена почвенных комплексов (см. табл. 2) имеет достаточно стабильный уровень значений по глубине отбора проб, что свидетельствует о пополнении кальция и магния восходящим увлажнением кальциевыми водами из подземных водоносных горизонтов.

В качестве примера нами получены аппроксимированные зависимости емкости катионного обмена (E) кальция Ca^{+2} и магния Mg^{+2} по глубине почвенного комплекса (h) для участка чернозема Ситовский 2 Сокольско-Ситовского месторождения карбонатных пород:

$$\begin{aligned} & \text{- по } Ca^{+2} E_{Ca} = 26,08 + 1,78/h, \text{ мг-экв/100 г почв, } R = 0,99; \\ & \text{- по } Mg^{+2} E_{Mg} = 9,62 - 0,02 h, \text{ мг-экв/100 г почв, } R = 0,95. \end{aligned} \quad (5)$$

При интегрировании полученных зависимостей определены суммарные емкости катионного обмена (ЕКО) кальция Ca^{+2} и магния Mg^{+2} на всю мощность почвенного комплекса ($h = 23,9$ м) в естественных условиях:

$$\begin{aligned} EКО_{Ca} &= 623,3 \text{ мг-экв/100 г почв;} \\ EКО_{Mg} &= 218,5 \text{ мг-экв/100 г почв.} \end{aligned} \quad (6)$$

Согласно принятого метода сравнений для обеспечения защиты водоносных горизонтов от загрязнений необходимо, чтобы суммарные емкости катионного обмена (ЕКО) кальция Ca^{+2} и магния Mg^{+2} на всю мощность почвенного комплекса в естественных условиях были не менее чем после рекультивации карьеров ($EКО_p$), т.е. должно соблюдаться условие

$$\begin{aligned} EКО_p &\geq EКО_{Ca}, \\ EКО_p &\geq EКО_{Mg} \end{aligned} \quad (7)$$

или

$$\sum EКО_p \geq EКО_{Ca} + EКО_{Mg}. \quad (8)$$

Исходя из проектной мощности почвенного комплекса при рекультивации (h_p) аналогично определяются суммарные емкости катионного обмена (EKO_p) по кальцию Ca^{+2} и магнию Mg^{+2} .

Таким образом, используя зависимости (4 и 8) нами получена эколого-гидрологическая модель совместных решений для определения мощности почвенного комплекса (h_p), обеспечивающего защиту водоносных горизонтов при рекультивации карьеров нерудного сырья

$$\begin{aligned} T_p &\geq T_6. \\ \sum EKO_p &\geq EKO_{Ca} + EKO_{Mg}. \end{aligned} \tag{9}$$

Выводы

Разработанная модель ложится в основу совершенствования технологических схем рекультивации карьеров нерудного сырья, обеспечивающих не только восстановление плодородия поверхностного слоя почвы, но и защиту водоносных горизонтов от загрязнений токсичными микроэлементами, что предопределяет возможности продолжения их использования в качестве источников питьевого водоснабжения местным населением.

Библиография

1. Подземные воды Мира: ресурсы, использование, прогнозы /под ред. И.С. Зекцера. - М.: Наука, 2007. – 438 с.
2. Заридзе М.Г. Эколого-геологическая оценка воздействия комплексов по добыче и переработке карбонатного сырья на природную окружающую среду: на примере Центральной России // дисс. канд. наук, 2014.
3. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве: Гигиенические нормативы»—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2006. - 15 с.
4. ГОСТ 17.5.3.04-83 (СТ СЭВ 5302-85) Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. – М.: Стандартинформ, 1983.
5. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель».
6. ГОСТ 25584-2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Стандартинформ, 2019.
7. ГОСТ 31869-2012 Вода. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза. М.: Стандартинформ, 2019.
8. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методы определения жесткости. М.: Стандартинформ, 2018.

*Синергетический подход к исследованию исторической природно-технической системы
Успенского собора в городе Смоленск*

Афанасьев А. Е. (afanasyev.ae@yandex.ru),

Кочнова А. А. (navi-01@inbox.ru) 2-й курс магистратуры, гидрогеологический факультет,
Научный руководитель: Демкин И. А. (igordemkin@mail.ru) Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)*

Аннотация

В работе рассмотрен исторический памятник архитектуры Успенский собор в городе Смоленск. При помощи системного анализа и синергетики было проведено исследование ИПТС, выявлены возможные инженерно-геологические процессы и предложены основные меры нейтрализации их условий.

Ключевые слова

Синергетика, инженерная геология, историческая природно-техническая система, памятники архитектуры, собор, аттрактор, точка бифуркации, флуктуация.

Теория

Памятники архитектуры являются сложными историческими природно-техническими системами (ИПТС) и представляют собой открытые системы, активно взаимодействующие с окружающими их локальными системами, и постоянно находящиеся в состоянии динамического равновесия. Между ИПТС и локальными системами происходит обмен веществом, информацией и энергией, что проявляется в развитии комплекса инженерных и инженерно-геологических процессов. Эти процессы являются формой самоорганизации памятника, следовательно, открытость системы определяет ее способность к саморегулированию. Путем этой «регулировки», в процессе всего функционирования памятника, система стремится достичь наиболее выгодного для себя энергетического равновесного состояния - т.е. разрушиться. Наиболее достоверно описать такое поведение систем возможно с применением синергетического видения окружающего мира.

Основными аспектами в синергетике являются нелинейность развития системы, ее открытость, взаимоподчиненность элементов системы и локальных систем в рамках глобальной системы, точка бифуркации (или точка ветвления возможных путей развития системы), неустойчивость, диссипативность. Согласно концепции синергетики и самоорганизации вещества, в точке бифуркации происходит переход от одного относительно стабильного состояния к другому, что приводит к формированию новых, энергетически более выгодных, уровней организации системы. Возможных путей развития системы существует множество, и невозможно точно предсказать, в какое состояние перейдет система после прохождения точки бифуркации из-за случайного (нелинейного) воздействия окружающей среды (т.н. малой флуктуации). Тем не менее, все возможные сценарии постепенно стремятся к аттрактору, под которым в данном случае следует понимать некоторый набор свойств системы, притягивающий к себе все возможные траектории ее поведения, определяемые разными начальными условиями.

Исследуемый объект, Успенский собор в городе Смоленск, является типичной открытой исторической природно-технической системой, которая взаимодействует с окружающими локальными природными системами (литосферой, биосферой, атмосферой, гидросферой) и пребывает в постоянном неустойчивом состоянии, или состоянии динамического равновесия. Для данной системы характерен довольно очевидный аттрактор, к которому она стремится - избавление от лишних напряжений в системе и «пологой» форме рельефа (полное или частичное разрушение).

Главная задача настоящего исследования заключается в выявлении спектра возможных процессов, влияющих на систему Успенского собора, оценке условий и причин их развития, с целью нейтрализации этих процессов путем ликвидации условий или причин их развития. Таким образом, применяя методы синергетического и системного анализов, мы можем разумно описать состояние системы и определить основные источники опасности. Далее, опираясь на проведенный анализ, мы в состоянии определить те мероприятия, которые необходимо выполнить для перевода системы на устойчивый путь функционирования. Существенно, что при реализации такого подхода становится возможным точечное, целевое воздействие на систему, позволяющее наиболее полно применять реставрационные принципы минимального вмешательства в ее историческое «тело» с достижением максимального позитивного эффекта. В то же время, применение принципов синергетики в реставрационной сфере заставляет говорить о том, что опора исключительно на действующие нормативные документы в этой сфере не эффективна, а исследовательские работы должны вестись в основном научно-исследовательскими методами.

Основными, наиболее вероятными и опасными инженерно-геологическими процессами для выбранного исторического памятника архитектуры, с точки зрения инженерной геологии, являются: разуплотнение грунтов основания из-за деструкции деревянных свай под подошвой фундаментов собора и склоновые процессы на Соборной горе.

Успенский собор в городе Смоленск имеет длительную историю строительства, начавшуюся в XVII столетии. Грунты основания были уплотнены забивкой деревянных свай, были устроены фундаменты, однако возведение самого собора началось намного позже. К тому времени деревянные сваи подверглись деструкции, так как находились в зоне аэрации. В связи с этим строительство собора продолжилось уже на разуплотненных грунтах и нагрузка, которая передавалась на них, оказалась больше, чем была их несущая способность. В процессе строительства начали происходить деформации сооружения. Для их предотвращения были приняты корректирующие инженерные решения, одно из которых — завершение собора, выполненное в деревянном исполнении. Однако, это не позволило исключить деформации здания. На текущий момент времени мы имеем деформированное здание собора, где процесс уплотнения грунтов основания не завершен и будет продолжаться вплоть до возврата грунтов в их исходное (природное) состояние, а после - к их дальнейшему уплотнению вплоть до тех значений, которые они должны были бы получить при компрессии без предварительного уплотнения сваями.

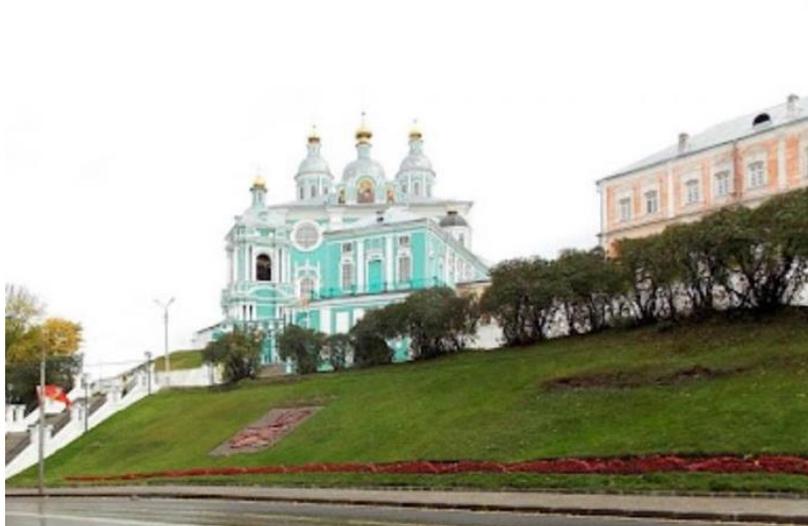


Рисунок 1. Вид на Успенский Собор с запада (улица Соборная Гора)

Основной случайной флуктуацией (внешнее воздействие), способной влиять одновременно на активизацию уплотнения и склоновых процессов, является переувлажнение грунтов. Как видно на рисунке 1, пассивные методы крепления склона (например, посадка растительности) не в должной степени выполняют свои функции.

Под воздействием динамических и статических нагрузок грунты основания могут подвергаться уплотнению. Эти нагрузки приводят к неравномерному распределению нагрузки, что увеличивает дисбаланс в структуре памятника архитектуры. Для компенсации этих процессов необходимо сначала закрепить грунты основания и оптимизировать их под ожидаемые нагрузки. Для улучшения несущей способности грунтов можно применить методы мелиорации.

Рассмотрим один из возможных негативных сценариев развития системы и вывода ее из состояния динамического равновесия с точки зрения комплекса склоновых процессов. Как отмечалось выше, триггером развития оползневых явлений на Соборной горе может стать переувлажнение склона. В свою очередь, это переувлажнение вызывается нарушением инфраструктуры поверхности склонов и верхней площадки горы, на которой, в частности, где размещен Успенский собор. Для нейтрализации переувлажнения, которое активизирует склоновые процессы, возможно применить планировку склонов в комплексе с поверхностным укреплением с применением георешеток, геотекстиля и др. материалов. Это позволит избежать путем эрозионного разрушения склона и, как следствие, его переувлажнения. Важно, что работы по планировке склонов работы должны выполняться в комплексе с устройством различных дренажных систем и управления водой на склоне.

Выводы

Рассматриваемый набор процессов не ограничивается вышеупомянутыми двумя. Однако, в силу ограничений нашего доклада, мы фокусируемся лишь на наиболее опасных и значимых процессах. Предлагаемые подходы имеют концептуальный характер, а практическое применение возможно лишь после полного и всестороннего анализа системы.

Библиография

1. Е. М. Пашкин. Синергетика в Инженерной Геологии. Москва, 2023.
2. Писарев С. П. Княжеская местность и храм музей в Смоленске: историко-археологические исследования. Смоленск, 1894.
3. Памятники архитектуры Смоленской области. Смоленск, 1956.
4. Е. М. Пашкин. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. Москва, 2022.
5. Кудрюмов С. П., Князева Е. Н., Основания синергетики. Санкт-Петербург, 2002.

*Влияние поверхностных плёнок на капиллярное поднятие в песках
Лебедев Г.А. *(МГУ им. М.В. Ломоносова, grigorij.lebedev.04@mail.ru),
Самарин Е.Н. (Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова,
samarinen@mail.ru),
Пензев А.П. (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
penzevar@ty.msu.ru),
Летуновская С.С. (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
svetlana26122000@yandex.ru)*

Аннотация

Изучено влияние различных по составу аутигенных пленок на высоту и скорость капиллярного поднятия в песках. Объектом исследования послужили модельные образцы песчаных грунтов с искусственно созданными глинистыми, железистыми, карбонатными, органическими, силикатными поверхностными пленками, а также с удалёнными аутигенными образованиями. Высота капиллярного поднятия в исследуемых песках изменяется в диапазоне от 10 до 38 см.

Ключевые слова

Песчаные грунты, поверхностные пленки, капиллярные свойства грунтов, высота капиллярного поднятия, скорость капиллярного поднятия.

Теория

Капиллярные явления, возникающие в песчаных грунтах, обусловлены поверхностным натяжением поровой жидкости на границе с газом. Наиболее часто данные явления изучаются на примере капиллярного поднятия воды в песках [13]. Капиллярные свойства усиливают фильтрацию и потерю воды из оросительных систем и каналов и способствуют подтоплению зданий при капиллярном подъеме воды [8], а также обуславливают отношение грунтов к растворам химических реагентов, используемых для искусственного закрепления, определяя условия проектирования и осуществления инъекционного процесса [3].

Высота капиллярного поднятия зависит от следующего ряда факторов: химико-минерального состава грунта, структурно-текстурных особенностей, состава и свойств поровой жидкости, а также внешних факторов, влияние которых отмечают для песков с единичными структурно-текстурными особенностями как незначительное [7,12]. Влияние минерального и гранулометрического состава, а также плотности сложения на высоту капиллярного поднятия исследовано и приведено в работах [1,10,12]. Зависимость капиллярных свойств от состава аутигенных образований остается малоизученным, несмотря на то что в ряде работ [2,9,11] указано об определяющем влиянии поверхностных пленок на физико-химические особенности грунтов. Таким образом, целью проведенного исследования являлось изучение влияния аутигенных образований на высоту и скорость капиллярного поднятия для песков с единичными структурно-текстурными особенностями.

Нами были созданы модельные образцы песчаных грунтов с различными поверхностными пленками по модифицированной методике, изложенной Е.Н. Огородниковой [9]. Количество вещества варьирует в пределах 2-3%, что обеспечивает 40-50% покрытие песчаных зерен. Объектом исследования послужили аллювиальные пески второй надпойменной террасы р. Клязьма ($a_{\text{Qп}}^2$), средние (по ГОСТ-25100-2020) [4], мелко-среднезернистые (по классификации Е.М. Сергеева) [8], мономинеральные, кварцевые, с примесями калиевого полевого шпата (3%) и плагиоклаза (2%). Определение высоты и скорости капиллярного поднятия проводилась по стандартной методике, с трехкратной повторностью [8]. Перед проведением экспериментов песчаные грунты осторожно перетирались в ступке резиновым пестиком, для разрушения

слабых, неводостойких агрегатов, но с сохранением аутигенных плёнок на поверхности зёрен. Песчаные грунты укладывались в стеклянные трубки с постоянной плотностью ($\rho=1,7 \text{ г/см}^3$) методом послонной трамбовки.

Полученные результаты и их обсуждение

Полученные результаты позволяют говорить, что капиллярного поднятия (рис.1) в песчаных грунтах увеличивается согласно следующему ряду: органическая, силикатная, глинистая, карбонатная, железистая. Пески с отсутствием поверхностных пленок отличаются сниженными значениями высоты капиллярного поднятия, как относительно естественных песков, так и относительно наиболее распространенных типов поверхностных рубашек. Крайне низкие значения высоты капиллярного поднятия у песчаных грунтов с органической пленкой обусловлены, в первую очередь, гидрофобностью поверхности минеральных зерен, покрытой органической пленкой (краевой угол смачивания $48-50^\circ$). Пески с наличием аутигенных образований железистого состава имеют наибольшую высоту капиллярного поднятия вследствие частичного отслоения гидроксида железа от минеральной поверхности, что приводит к увеличению дисперсности образца в целом, локальному изменению конфигурации порового пространства преимущественно на стыках между песчаными зёрнами, и как следствие, к уменьшению эффективного диаметра капилляров.

Высота капиллярного поднятия жидкости по формуле Д. Жюрена определяется следующим образом:

$$h_c = 2\sigma \times \cos\theta / r_p \rho_w g, \quad (1)$$

где ρ_w - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения; r – усреднённое значение радиусов капилляров; $\cos\theta$ – краевой угол смачивания; σ – величина поверхностного натяжения [6].

Для нашей серии экспериментов величины ρ_w и g оставались постоянными, а параметры $\cos\theta$ и σ являются характеристиками взаимодействия между раствором и поверхностью зёрен грунта, влияние которых в конечном итоге мы и выявляли в нашем исследовании. Поэтому для того, чтобы оценить и вычлнить влияние усреднённого значения радиусов капилляров на высоту капиллярного поднятия в песчаных грунтах, которые изменяют свою эффективную пористость вследствие появления в грунте органического вещества, глинистого, силикатного и др., дополнительно была проведена серия экспериментов по оценке коэффициента фильтрации образцов с различными пленками [5], которая будет характеризовать величину пористости, результаты которых представлены в сводной таблице (табл. 1). Как видно из этой таблицы (табл. 1) и графиков по оценке влияния поверхностных плёнок на высоту и скорость капиллярного поднятия (рис. 3), прямой корреляции между значениями нет, что объясняется как раз различием в значениях $\cos\theta$ и σ .

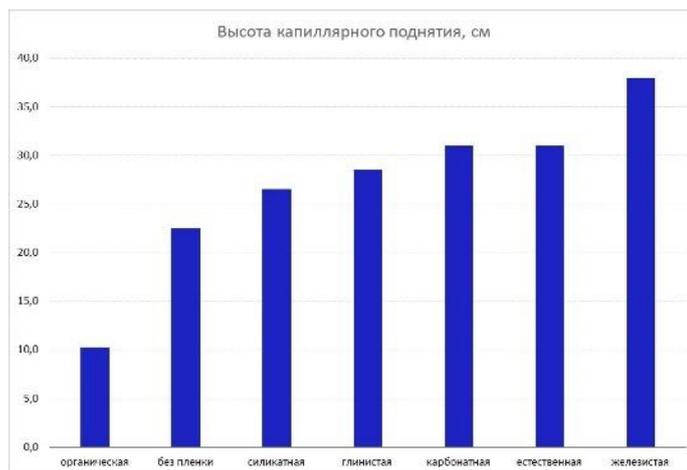


Рисунок 1. Гистограмма влияния поверхностных пленок на высоту капиллярного поднятия в песчаных грунтах

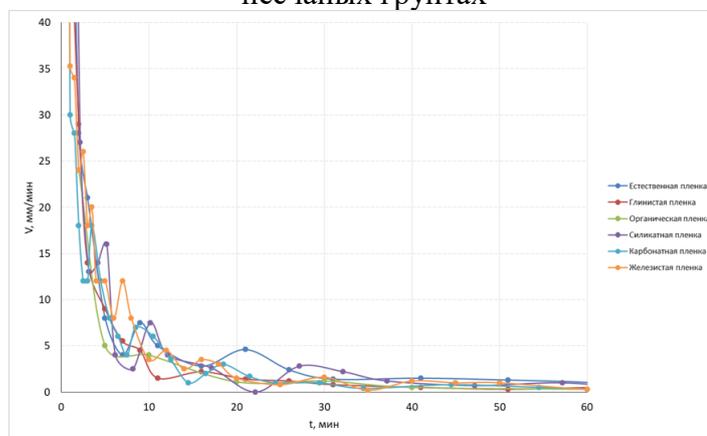


Рисунок 2. Характер изменения скорости капиллярного поднятия во времени в песках с разными аутигенными плёнками

Таблица 1

Коэффициенты фильтрации песчаных грунтов с различными поверхностными плёнками

железистая	глинистая	естественная	органическая	карбонатная	без пленки	силикатная
2,8	10,6	13,6	13,8	15,0	20,6	22,0

Результаты определения скорости капиллярного поднятия приведены на рис. 2. По данному параметру поверхностные пленки располагаются в следующий типологический ряд по возрастанию: органическая, глинистая, силикатная, карбонатная, естественная, железистая. Наблюдается прямая зависимость между высотой и скоростью капиллярного поднятия, что объясняется одинаковым гранулометрическим составом исследуемых модельных образцов. Из данной зависимости выбиваются значения, полученные для песчаных грунтов с глинистой аутигенной пленкой, что объясняется ростом дисперсности системы.

Выводы

Таким образом помимо химико-минерального состава грунта, структурно-текстурных особенностей, состава и свойств поровой жидкости и других внешних факторов, на высоту

капиллярного поднятия значительное влияние оказывают наличие и химико-минералогический состав поверхностных плёнок на песчаных зёрнах. Весомое различие между полученными данными о высоте и скорости капиллярного поднятия в песчаных грунтах с разными плёнками обусловлено неодинаковым взаимодействием между раствором и поверхностью зёрен, прежде всего, явлением смачивания между неоднородными поверхностями.

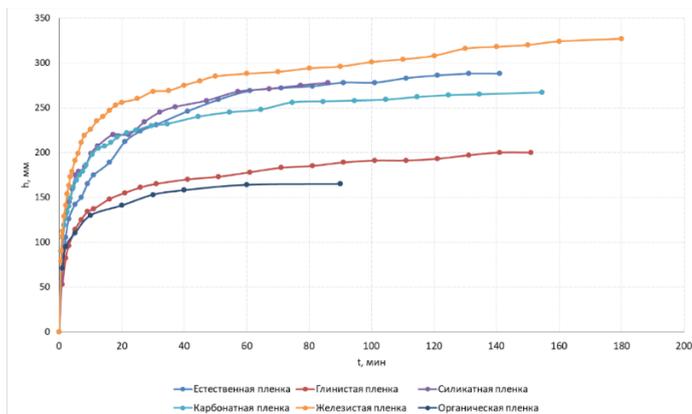


Рисунок 3. График влияния поверхностных плёнок на скорость капиллярного поднятия в песчаных грунтах

Библиография

1. Асилова З.А. Оценка влияния плотности грунтов на высоту капиллярного поднятия воды. Наука и новые технологии, №8, 2009 – с. 16-18.
2. Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. – М.: Научный мир, 2005. – 504 с.
3. Воронкевич С.Д., Евдокимова Л.А. Газовая силикатизация песчаных пород. М.: Изд-во МГУ, 1974 – 151 с.
4. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020 – 41 с.
5. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.:Стандартинформ, 2016 – 22 с
6. Грунтоведение/Трофимов В.Т., Королев В. А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю. К., Зиангиров Р.С. Под редакцией В. Т. Трофимова. – 6-е изд., переработ. и доп. – М; Изд-во МГУ, 2005 – 1024 с.
7. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России. Вознесенский Е.А., Королёв В.А., Трофимов В.Т. Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: изд-во КДУ, 2011. 672 с.
8. Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие/ Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. 3-е изд., перераб. и доп. М.:КДУ, Университетская книга, 2017 – 654 с.
9. Ларионова Н.А., 2021. Поверхностные пленки на песчаных зернах, их состав и условия образования. Инженерная геология, Том XVI, № 4, с. 6–17.
10. Мичурин, Борис Николаевич. Энергетика почвенной влаги. Мичурин, Борис Николаевич. Ленинград : Гидрометеиздат , 1975 .- 139 с.
11. Огородникова Е.Н. Взаимодействие минералов и песков с карбамидной смолой в целях закрепления песчаных грунтов: Дис... к.г.-м.н. М., 1970 - 227 с.
12. Охотин В.В. Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. М.: Гушосдор, 1937, - 120 с.
13. Песчаные грунты России: в 2 томах. Том 1 / В.Т. Трофимов [и др.]; под ред. В.Т. Трофимова. – Москва: Издательство Московского Университета, 2021. – 394, [2] с.

*Влияние глинистых примесей на прочность песчаных грунтов, закрепленных
модифицированным раствором алифатической эпоксидной смолы
Летуновская С.С.* (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
svetlana26122000@yandex.ru),*

*Самарин Е.Н. (Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова,
samarinen@mail.ru),*

*Пензев А.П. (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
penzevar@ty.msu.ru),*

*Лебедев Г.А. (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
grigorij.lebedev.04@mail.ru)*

Аннотация

Исследовано влияние глинистых поверхностных пленок на закрепление грунтов инъекционным раствором на основе алифатической эпоксидной смолы и коллоидного кремнезема. Объектом исследования послужили модельные образцы песчаных грунтов с искусственно созданными глинистыми поверхностными пленками. Прочность закрепленных образцов изменяется в диапазоне от 1,37 до 1,78 МПа, что в 2 раза превышает значения прочности модифицированных грунтов с удаленными поверхностными пленками. Показано положительное влияние глинистых примесей при закреплении песчаных грунтов инъекционным раствором.

Ключевые слова

Техническая мелиорация грунтов, инъекционная обработка песчаных грунтов, поверхностные пленки, песчаные грунты, эпоксидная смола, коллоидный кремнезем.

Теория

Глинистые минералы часто в небольшом количестве присутствуют в песчаных грунтах и неблагоприятно влияют на их свойства. Пески с глинистыми пленками обладают некоторыми негативными факторами, среди которых отмечается способность к разжижению при динамических нагрузках. Ввиду неблагоприятных особенностей данных грунтов следует исследовать эффективность их закрепления инъекционными растворами с целью улучшения их свойств [1,2,6].

Исследование выполнено на модельных образцах с удаленными и искусственно нанесенными глинистыми поверхностными пленками. В качестве исходного грунта был выбран аллювиальный песок второй надпойменной террасы р. Клязьма (аQIII²). По ГОСТ 25100-2020 [3] - пески средние, по классификации Е.М. Сергеева [5] - относятся к мелко-среднезернистым, мономинеральные, кварцевые, с содержанием кварца не менее 93-95%.

Аутигенные образования удалялись с природных песков по модифицированной методике, предложенной Е.Н. Огородниковой [7]. Для создания модельных образцов проводилось полное удаление естественных поверхностных пленок путем нагревания навески грунта с 5% растворами соляной (HCl) и щавелевой кислот (C₂H₂O₄) и трехкратного повторения отмучивания и обработки песчаного грунта растворами кислот. Для нейтрализации среды в грунт по капле добавлялся 10% раствор аммиака (NH₃).

Создание поверхностных пленок проводилось путем добавления в песчаный грунт с удаленными поверхностными пленками глинистой суспензии. При проведении лабораторных исследований использовалась однородная хлорит-гидрослюдистая синяя кембрийская глина, отобранная в г. Никольское, Ленинградская обл. Преобладающий размер частиц – менее 0,001 мм [4]. Количественное содержание глины измерялось путем потери массы после кипячения с аммиаком и отмучивания.

Инъекционное закрепление песков проводилось в инъекционной колонне методом пропитки, по методике, описанной в работе [9]. Плотность грунтов до закрепления составляет $1,70 \text{ г/см}^3$. В качестве вяжущего был выбран модифицированный раствор алифатической эпоксидной смолы [8]. Инъекция рабочего раствора проходила с поддержанием постоянного давления в $1,5 \text{ атм.}$, продолжительность обработки составляла порядка 10 минут. Закрепленные образцы хранились в воздушно-влажной среде на протяжении 1 месяца. По истечении данного времени определялась прочность на одноосное сжатие на приборе МП-2С, плотность и влажность в соответствии с общепринятой методикой [5].

Полученные результаты и их обсуждение

Характер распределения глинистой пленки на поверхности грунта определялся под бинокулярным микроскопом (Рисунок 1). Песок с искусственно нанесенной глинистой поверхностной пленкой имеет темно-серую окраску. Глинистая рубашка наблюдается лишь на единичных угловато-окатанных зернах. Общее распространение глинистых пленок - островное. Наблюдаются единичные окатанные зерна, не покрытые пленкой. Содержание глины составляет $2,72\%$.

Прочность на одноосное сжатие образцов с глинистой поверхностной пленкой изменяется в диапазоне от $1,37$ до $1,78 \text{ МПа}$. Среднее значение составляет $1,54 \text{ МПа}$. Плотность образцов изменяется от $1,99$ до $2,06 \text{ г/см}^3$, влажность – от 9 до 12% . Прочность на одноосное сжатие образцов с удаленными поверхностными пленками существенно ниже: от $0,48$ до $1,09 \text{ МПа}$, среднее значение – $0,78 \text{ МПа}$.

С целью получения информации по характеру распространения глинистой пленки на поверхности песчаных зерен и заполнения порового пространства гелем инъекционного раствора были проведены анализы с помощью растровой электронной микроскопии, выполненные с.н.с., Черновым М.С. (Рисунок 2).

Глинистая пленка приурочена к неровностям на поверхности зерен и имеет пластинчатую форму. Гель рабочего раствора формирует пленку толщиной $0,5$ - $2,5$ микрон, имеющую сетчатую микроструктуру, наблюдается значительное количество контактов между затвердевшим гелем и поверхностью песчаных зерен. При инъекционной обработке песчаных грунтов наблюдается процесс частичного растворения аутигенных пленок, вследствие их низкой адгезии к кварцевым зернам, что приводит к встраиванию глинистых частиц в структуру геля, поглощению воды и последующему набуханию.

С целью оценки характера и качества заполнения порового пространства были проведены исследования с помощью компьютерной микротомографии, выполненной инженером Ермолинским А.Б. Пористость песчаного грунта с глинистой пленкой до инъекционной обработки составляет 36 - 38% , пористость после закрепления составляет от 3 до 9% и закономерно увеличивается при удалении от точки инъекции.



Рисунок 1. Песок с искусственно нанесенной глинистой поверхностной пленкой

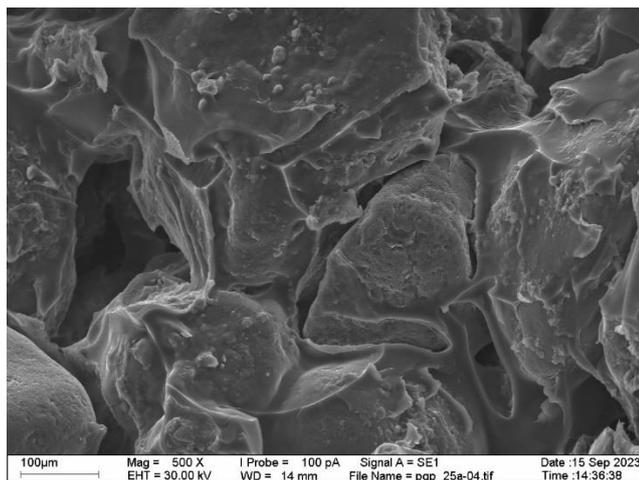


Рисунок 2. Электронно-микроскопический снимок закрепленного песчаного грунта с глинистой поверхностной пленкой; 500 крат. увеличение (Съемка выполнена Черновым М.С.)

Выводы

Таким образом, несмотря на распространенную точку зрения, содержание глинистых примесей в песчаных грунтах оказывает положительное влияние на эффективность их обработки инъекционными растворами. Значения прочности закрепленных песков с аутигенными пленками в 2 раза превышает полученные значения прочности модифицированных грунтов с удаленными поверхностными пленками. Пористость образцов после обработки снижается с 36-38 до 3-9%. Высокая прочность обработанных песков связана с повышением сорбционной способности образцов, высокой адгезией затвердевшего раствора к веществу пленок, а также с встраиванием глинистых частиц в структуру геля инъекционного раствора и поглощения воды из него.

Благодарности

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова Чернову Михаилу Сергеевичу и инженеру кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова Ермолинскому Андрею Борисовичу.

Библиография

1. Банник Г.И. Техническая мелиорация грунтов. Вища школа. Киев. 1976. 304 с.
2. Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. – М.: Научный мир, 2005. – 504 с.
3. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020 – 41 с.
4. Гравис М.В., Самарин Е.Н., Пензев А.П. Химические сваи как метод упрочнения массивов водонасыщенных грунтов. Инженерные изыскания в строительстве. Материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов, место издания ООО "Геомаркетинг" Москва, 2023 - с. 31-37.
5. Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие/ Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. 3-е изд., перераб. и доп. М.:КДУ, Университетская книга, 2017 – 654 с.
6. Мулюков Э.И. Роль карбонатных и глинистых примесей при смолизации. Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве. Тезисы докладов на IX Всесоюзном научно-техническом совещании. Москва, «Стройиздат», 1978.- с. 174 - 178.

7. Огородникова Е.Н. Взаимодействие минералов и песков с карбамидной смолой в целях закрепления песчаных грунтов: Дис... к.г.-м.н. М., 1970 - 227 с.

8. Пензев А.П., Самарин Е.Н. Инъекционный раствор для закрепления пескосодержащего массива. #RU 2785 603 С1, 2022.

9. Пензев А.П., Самарин Е.Н., Чернов М.С., Ермолинский А.Б., Фуникова В.В., Соколов В.Н. Закрепление песчаных и пылеватых грунтов модифицированным раствором эпоксидной смолы. Инженерная геология, Том XVIII, №3/2023 – с. 68-81.

*Моделирование состояния многолетнемерзлых грунтов в основании водозаборного
сооружения в районе реки Тас-Юрях*

*Наумов М.А. * (МГРИ, naumovma@mgri.ru),
соавтор Фоменко И.К. (МГРИ, ifolga@gmail.com),
соавтор Горобцов Д.Н. (МГРИ, gorobtsov@mgri.ru)*

Аннотация

В работе представлены результаты исследований состояния многолетнемерзлых грунтов в основании водозаборного сооружения ковшового типа в районе реки Тас-Юрях (восточный блок Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения). В результате анализа инженерно-геологических условий участка исследований построена его геотехническая схема, на основании которой выполнено математическое моделирование глубины оттаивания грунтов в основании водозаборного сооружения от отепляющего воздействия воды. Расчет глубины оттаивания грунтов от воздействия воды в водоеме – накопителе произведен с помощью программного обеспечения Temp/W из комплекса GeoStudio, основанного на методе конечных элементов. Прогноз на конечный срок службы сооружения составлялся на основании исследований изменения температур в водоеме и на поверхности грунта. Показано, что основной проблемой при математическом моделировании оттаивания является обоснованное задание глубины толщи многолетнемерзлых грунтов. Именно этот фактор оказывает определяющее влияние на результаты расчета и достоверность прогноза.

Ключевые слова

Математическое моделирование, метод конечных элементов, глубина оттаивания, многолетнемерзлые грунты, водозаборное сооружение.

Теория

Обустройство и разработка нефтегазовых месторождений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) сопряжены с большими трудностями. Это связано с изменениями инженерно-геологических условий и преобразованием верхней части инженерно-геокриологического разреза в результате антропогенного воздействия [3]. Техногенные преобразования поверхностных условий сопровождаются изменением температуры грунтов, что так же сказывается на характере и интенсивности развития экзогенных геологических процессов [1]. Оттаивание ММГ под сооружениями всегда вызывает дополнительные неравномерные осадки грунтового массива [8]. При последующем промерзании оттаявшего грунта, возможно его пучение.

Целью работы являлась оценка влияния граничных условий на результаты математического моделирования глубины оттаивания грунтов от воздействия воды в проектируемом водозаборе.

Сведения об объекте исследования

Проектируемый водозабор Восточного блока Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения административно расположен в Республике Саха (Якутия), в Мирненском районе, в 15 км к северо-западу от п. Тас-Юрях, на левом берегу р. Тас-Юрях.

Климат района резко континентальный с продолжительной суровой зимой и коротким теплым летом. Зима продолжительностью 7 месяцев, средняя месячная температура воздуха в январе от -28°C до -40°C . Весна и осень кратковременны и характеризуются большими суточными амплитудами температур. Летом жаркие дни сменяются холодными ночами. Средняя температура воздуха в июле от $+12^{\circ}\text{C}$ до $+18^{\circ}\text{C}$, максимальная составляет $+33^{\circ}\text{C}$ - $+35^{\circ}\text{C}$.

Геологический разрез участка проектируемого водозабора сложен, снизу-вверх, средне-верхнекембрийскими отложениями (верхоленская свита) и, перекрывающими, четвертичными отложениями. Верхоленская свита в основном сложена алевролитами, мергелями и аргиллитами. Четвертичные отложения расчленены на генетические типы и относятся к верхнему неоплейстоцену и голоцену.

В условиях сурового климата, с продолжительной малоснежной и холодной зимы, характерной особенностью района является распространение многолетнемерзлых грунтов мощностью до 400 м. [8].

По результатам изысканий были установлены инженерно-геологические и геокриологические условия исследуемого участка (рис. 1).

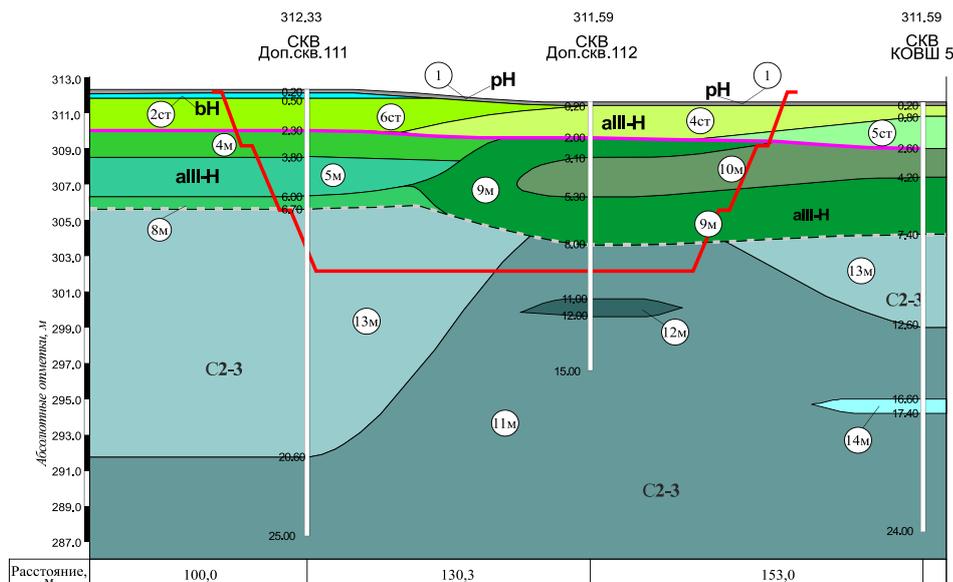


Рисунок 1. Схематический инженерно-геологический разрез с проектным профилем котлована (красная линия обозначает границы котлована)

Методика расчетов

Расчет глубины оттаивания грунтов от воздействия воды в водоеме – накопителе произведен с помощью программного обеспечения Temp / W из комплекса GeoStudio, основанного на методе конечных элементов [5].

На начальном этапе была создана расчетная схема на основе проектной документации сооружения и данных об инженерно-геологических условиях.

Для задания граничных условий была использована информация об изменении температуры воздуха на поверхности грунта и на поверхности воды в будущем водоеме (на основе выполненных инженерно-гидрометеорологических изысканий, с учетом годового цикла колебаний температур).

Наибольшая неопределенность при построении расчетной схемы, связана заданием условий на ее нижней границе [4,6], с оценкой глубины расчетной области, с характером распределения температур в толще многолетнемерзлых грунтов, оцененному на основании палеоклиматических исследований и теплофизическими свойствами грунтов, слагающих геологический разрез [7].

Описываемые факторы для участка исследования определялись лишь на глубину до 30 м., что является недостаточным для построения обоснованной математической модели. По этой причине при расчетах была выбрана различная глубина расчетной области: 90, 100, 150 и 200

метров от поверхности. Температура на нижней границе принята 0°C. Таким образом, моделировалась различная мощность многолетнемерзлых пород и ее влияние на результаты расчетов. Начальное температурное поле было задано на основании данных по замеру температуры в скважинах, пробуренных на участке (до исследуемой глубины 30 м).

Результаты расчетов

Расчет глубины оттаивания грунтов от воздействия воды в водоеме – накопителе был произведен на срок службы сооружения 50 лет с шагом 5 лет. На рис. 2 представлен прогноз на конечный срок службы сооружения, при различных глубинах толщи многолетнемерзлых грунтов. Максимальная глубина оттаивания грунтов составила 57,5 м при глубине модели 90 м, минимальная – 35,5 м при глубине модели 200 м.

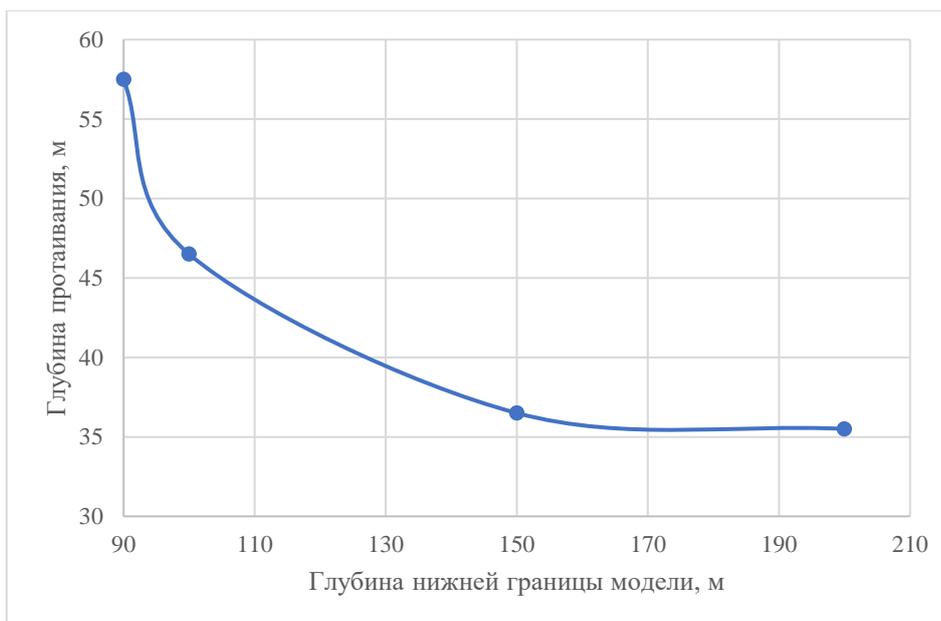


Рисунок 2. График зависимости глубины протаивания от глубины нижней границы модели на время эксплуатации сооружения – 50 лет

Выводы

Проблема математического моделирования оттаивания многолетнемерзлых грунтов в основании водоема-накопителя заключается в недостатке исходных данных. Оно носит оценочный характер. Это связано, с одной стороны с необходимостью схематизации и определением размеров расчетной области, а с другой – с неопределенностью исходной информации, в первую очередь связанной с отсутствием объективных данных о мощности, свойствах и состоянии толщи многолетнемерзлых грунтов. Дополнительным осложняющим фактором является то, что сбор, накопление и анализ информации, как правило, сопровождаются ошибками измерения, искажающими ограниченные сведения об инженерно-геологических условиях. Данная проблематика усугубляется пространственно-временной случайной природой факторов, воздействующих на объект исследований.

По результатам выполненного математического моделирования можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении глубины расчетной модели чаша протаивания уменьшается – с 57,5 м при 90 м до 35,5 м при 200 м.
2. С увеличением глубины расчетной модели мощность протаявшей толщи стремится к одному значению (разница между моделями 150 м и 200 м – 1 м).

Моделирование показало, что при отсутствии данных по мощности многолетнемерзлых пород можно определить оптимальную глубину расчетной модели, при которой дальнейшее увеличение мощности не приведет к значимому результату определения глубины чаши протаивания под исследуемым водозабором.

Библиография

1. Бондарик Г. К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. – 4-е изд. доп. – М.: КДУ, 2015, 472 с.
2. Научно прикладной справочник по климату СССР, Серия 3, Многолетние данные, Части I-VI, Выпуск 24, Якутская АССР. Гидрометеоздат, Л.: 1989.
3. Основы геокриологии / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1999, 526 с.
4. Farouki, O. T. "Thermal properties of soils." Series on rock and soil mechanics, Vol. 11, Trans Tech, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 1986, 136 p.
5. GEOSLOPE International Ltd. 2017. Heat and mass transfer modeling with GeoStudio 2018 (Second Edition). Calgary, Alberta, Canada. January 2018, p. 83.
6. Harlan, R. L., and Nixon, J. F. "Ground thermal regime." Chapter 3, Geotechnical engineering for cold regions, O. B. Andersland and D. M. Anderson, eds., McGraw-Hill, New York, 1978, p. 103–63.
7. Muller, S. W. Frozen in time: Permafrost and engineering problems, H. M. French and F. E. Nelson, eds., ASCE, Reston, VA., 2008.
8. Regehr, J. D., Milligan, C. A., Montufar, J., and Alfaro, M. "Review of effectiveness and costs of strategies to improve roadbed stability in permafrost regions." J. Cold Reg. Eng., 10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000054, 2013, p. 109–131.

Основные причины деформаций церкви Воскресения Христова в селе Оленьково Тульской области

Николаева П. А. (МГРИ, ra.nikolaeva@gmail.com),
Буфеев Ф. К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru),
Кедич А. И. (МГРИ, annkedich30@yandex.ru)*

Аннотация

Доклад посвящен объекту культурного наследия регионального значения “Церковь Воскресения Христова”, расположенному в селе Оленьково Тульской области. Конструкции церкви подвержены серьёзным деформациям. В августе 2023 года студенческим отрядом МГРИ было проведено изучение инженерно-геологических условий территории памятника, выполнено обследование фундаментов и грунтов основания для определения причин деформаций сооружения и путей их решения.

Ключевые слова

Инженерно-геологические изыскания, объект культурного наследия, грунты, фундаменты, реставрация, морозное пучение, обследование фундаментов, обследование грунтов основания.

Теория

При изучении объектов культурного наследия для разработки проектов реставрации важно установить причинно-следственные связи между экзогенными геологическими процессами, развивающимися в пределах изучаемой исторической природно-технической системы с момента постройки до настоящего времени, и деформациями несущих конструкций. Большинство сооружений, имеющих статус объекта культурного наследия, не имеют пространственной жесткости конструкций, вследствие чего легко деформируются даже при незначительном воздействии экзогенных геологических процессов.

Каждое сооружение требует ремонта через некоторое время эксплуатации. Для многих объектов культурного наследия время, когда необходимо было проводить реставрацию и принимать меры, направленные на оптимизацию условий функционирования сооружений, пришлось на XX век. Для православных храмов это оказалось неблагоприятным обстоятельством, так как большинство из них использовались в то время, как клубы, склады, психбольницы или они вовсе были заброшены, о реставрации не было и речи. В связи с этим, в настоящее время можно наблюдать нарушение вертикальной планировки, отсутствие регулирования поверхностного стока, и, как следствие, деформации несущих конструкций.

Одна из главных особенностей фундаментов исторических сооружений – это их высокая пустотность. За счет пустотности фундаменты способны накапливать так называемые фундаментные воды, которые приводят к таким негативным последствиям, как выщелачивание материалов кладок и растворов фундаментов, дополнительная пригрузка грунтов основания за счет веса воды и проявление процессов морозного пучения и морозобойного выветривания [3].

Также, важно отметить, что для любого инженерного сооружения справедлив тот факт, что больше всего деформациям и разрушениям подвержена северная (северо-западная) сторона здания [4], так как она получает меньше всего прямых солнечных лучей, следовательно, имеют место морозное пучение, морозобойное выветривание и биологическое поражение из-за переувлажнения.

Церковь Воскресения Христова (рис. 1) в селе Оленьково была построена в первой половине XIX века [5]. Внешний вид храма изменялся с течением времени, последним значительным изменением было уничтожение колокольни в начале XX века. В настоящее время в конструкции храма выделяются следующие архитектурные объемы: притвор, выполненный из

железобетона, трапезная, четверик, алтарь, выполненные из керамического кирпича на известково-песчаном растворе. Цоколь храма выполнен из блоков известняка на известково-песчаном растворе. Под четвериком и алтарем располагаются подвалы. Архитектурный стиль храма – классицизм.



Рисунок 1. Храм Воскресения Христова в селе Оленьково

Храм подвержен значительным деформациям и дефектам, в связи с чем студенческим отрядом МГРИ, состоящим из студентов группы РГК, под руководством доцента кафедры инженерной геологии Ф. К. Буфеева летом 2023 года было проведено обследование фундаментов и грунтов основания объекта. Был выполнен ряд работ: изучение фондовых материалов, спутниковых снимков, рекогносцировка, обмерные работы (на основе полученных данных были составлены планы 1-го этажа и подвалов), геодезическая съемка, деформационная съемка, проходка шурфов, описание кладки фундаментов, грунтов основания, отбор образцов, лабораторные исследования и камеральная обработка материалов.

Исследуемая территория относится к сильно расчлененной доледниковой эрозионной равнине, перекрытой днепровской мореной и покровными суглинками. Церковь Воскресения Христова расположена в 70 м от запруды на реке Хотеть. Объект расположен на бессточной территории.

В геологическом строении участка до глубины 8 м принимают участие: техногенные накопления, представленные твердой супесью с включениями строительного мусора, покровные отложения, представленные тугопластичным суглинком с линзами мягкопластичного, макропористым и обводненным по трещинам, и моренные отложения, представленные тугопластичной легкой глиной.

При проходке геологических выработок в макропористых покровных суглинках на глубине 2,60 м от поверхности земли были вскрыты подземные воды, относящиеся к верховодке.

Источником питания является инфильтрация атмосферных осадков и талых вод, областью разгрузки является пруд, который расположен в 70 м от храма. Уровень воды в пруду в меженный период (в августе) был ниже подошвы фундамента храма на 1,75 м.

Среди экзогенных геологических процессов проявляется процесс сезонного морозного пучения, выражающийся в характерных деформациях конструкций. Помимо этого, в период активного снеготаяния возможен подъем уровня верховодки выше глубины заложения подошвы фундамента. об этом свидетельствует наличие фундаментных вод, вскрытых при проходке шурфов.

В ходе деформационной съемки были выявлены наиболее характерные деформации: осадочные трещины, морозобойное выветривание кладки, проявление морозного пучения, переувлажнение стен, биологическое поражение. На наружных стенах встречаются разрушенные, местами отсутствующие кирпичи, выветрелый известково-песчаный раствор, множество трещин, в некоторых местах кладка стен покрыта мхом. Внутренние стены также разбиты трещинами, штукатурка на стенах разрушена. По периметру всего храма встречаются деформации в цоколе, который представлен пилеными блоками известняка на известково-песчаном растворе. Кладка частично разрушена, известково-песчаный раствор в швах сильно выщелочен, местами отсутствует, известняк сильно выветрелый. В цоколе четверика и алтарной части некоторые блоки отсутствуют, кладка влажная и покрыта мхом. Стены и своды подвала разбиты трещинами, известковая штукатурка разрушена. Стены подвала влажные, наблюдается постоянный капеж. Такое переувлажнение очень негативно сказывается на техническом состоянии конструкций подвала. На северной и южной сторонах храма расположены портики. Порттик на северной стороне храма полностью разрушен, на южной – находится в аварийном состоянии: опорные колонны испытывают энтазис, наклонены в разные стороны, кладка цоколя и ступеней подвержена значительным деформациям, известково-песчаный раствор кладки отсутствует из-за морозобойного выветривания, некоторые блоки полностью разрушены.

По результатам проходки шурфов было установлено, что фундаменты храма ленточные, глубина заложения – до 1,85 м от поверхности земли. Представлены рядной кладкой керамического полнотелого кирпича, пронизанного корнями растений и бутовой кладкой блоков известняка от пиленых до грубой тески, надземная часть кладок покрыта мхом, раствор в них сильно выветрелый, почти отсутствует. В двух шурфах были встречены фундаментные воды объемом 50–150 л, которые являются одной из основных причин разрушения кладки фундамента вследствие интенсивного развития морозобойного растрескивания в зимний период.

Выводы

Таким образом, главная причина всех деформаций и дефектов конструкций храма – это переувлажнение материалов кладки и грунтов основания, из-за которого происходит выщелачивание известково-песчаного раствора из кладки фундамента, а также развивается биологическое поражение. Также активно развивается процесс морозного пучения. На северной стороне здания переувлажнение происходит в связи с нехваткой прямых солнечных лучей, однако южной стороне храма тоже не хватает солнца из-за того, что в послевоенное время была высажена полоса лиственных деревьев, которые и препятствуют поступлению солнечных лучей к стенам храма в течение почти всего светового дня. Поэтому одна из первых рекомендаций – это вырубка деревьев, которая приведет к естественному высыханию кладки в весенне-летний период. Еще одна проблема – это высокий уровень воды в пруду, который после развала Советского Союза не регулируется. Значительный вклад вносит отсутствие вертикальной планировки территории. Для предотвращения дальнейшего развития деформаций необходимо спланировать территорию таким образом, чтобы атмосферные осадки эвакуировались с территории, не замачивая конструкции храма. Для того, чтобы обезопасить подвал от

деформаций и дефектов, необходимо организовать продухи, которые на данный момент существуют, но перекрыты и не функционируют должным образом.

Если решить проблему переувлажнения и выполнить укрепление фундаментов храма путем цементации, развитие деформаций храма будет прекращено.

Библиография

1. ГОСТ Р 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»
2. ГОСТ Р 55567–2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования»
3. Демкин И. А. «Механизм процесса снижения несущей способности грунтов оснований памятников русской архитектуры» Москва, 2001. 142 с.
4. Пашкин Е. М. «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры». М.: АНО «Традиция», 2022. 368 с.
5. “Приходы и Церкви Тульской Епархии.” – Тула; Тульское Епархиальное Братства Св. Иоанна Предтечи, 1895. 440–441 с.

**Сравнение результатов контрольных и ускоренных испытаний грунтов сваями в
многолетнемерзлых грунтах**

**Николенко И.А. * (МГРИ, qwnwhalle@gmail.com),
Кулешов А.П. (МГРИ, kyleshovap@mgri.ru)**

Аннотация

Актуальность работы состоит в анализе результатов полевых испытаний грунтов статическими нагрузками на вдавливание натурной сваи, выполненных по ускоренной и стандартной методикам в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Сроки проведения испытаний грунтов сваями позволяют корректировать и ускорять темпы строительно-монтажных работ по устройству «нулевого цикла» фундаментов, принятие различных конструктивных решений и возведение технических систем, направленных на обеспечение механической безопасности проектируемых сооружений в части создания и поддержания требуемого температурно-прочностного режима грунтов оснований (термостабилизация грунтов (ТСГ) и дальнейшего его контроля в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений (геотехнический мониторинг).

В работе проанализированы два метода расчета, приведен анализ по рациональной области использования каждого метода.

Ключевые слова

Несущая способность, рабочая испытываемая свая, сопоставимые испытания грунтов сваями, грунт многолетнемерзлый, температурный режим.

Теория

Газопровод «Сила-Сибирь» - стратегически важная и крупнейшая система транспортировки газа на Востоке России, строительство которого идет ускоренными темпами ведущими строительными компаниями России.

Строительные работы, как и любой производственный процесс не происходит гладко, тем более, когда территория работ расположена в суровых климатических условиях, имеет сложное геологическое, гидрогеологическое и тектоническое строение, а также не имеет нужной инфраструктуры. На фоне всех возможных возникающих трудностей строители совместно с изыскателями и проектировщиками при любой возможности пытаются ускорить процесс обустройства территории - ускорение процесса строительно-монтажных и проектно-изыскательских работ.

В основном в качестве фундаментов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов применяются сваи. На начальном этапе погружаются пробные сваи для выполнения натуральных испытаний в соответствии с действующими нормами и правилами с целью проверки геологического разреза, достоверности принятых параметров свай под фундамент и соответствии несущей способности расчетным проектным нагрузкам.

Положительные результаты испытаний дают возможность приступать к массовому погружению свайного поля, в противном случае необходимо будет корректировать проектные решения и проводить замену свай с одними параметрами на другие или увеличивать их число.

Работы по испытанию одиночных свай фундаментов сооружений вдавливающей нагрузкой на основании раздела 9 ГОСТ 5686-2020 производятся по 2-м методикам: динамометрическая (ускоренная) и стандартная.

Отличительной чертой этих двух методов является время проведение: в части проектно-изыскательских работ для стандартных испытаний 170 часов, а ускоренных – 34 часа.

В административном отношении площадка проведения испытаний свай расположена в северо-западной части Амурской области, на территории Сковородинского района, неподалеку от поселка Невер.

Инженерно-геокриологический разрез изучаемой территории до глубины 20,0 м по ранее проведенным изысканиям представлен комплексом различных стратиграфо-генетических комплексов: сверху залегают голоценовые биогенные (bQ_{IV}), представленные торфом среднеразложившимся, твердомерзлым, которые подстилаются верхнеплейстоцено-голоценовыми элювиально-делювиальными (edQ_{III-IV}) отложениями - крупнообломочные грунты, суглинки и супеси.

Нормативная глубина сезонного оттаивания в торфе около 0,80 м, в супесях и суглинках от 2,0 м до 3,5 м, в крупнообломочных грунтах - 4,0 м.

Грунтовые воды на площадке вскрыты на глубинах от 2,0 м до 12,0 м. Воды безнапорные. Сейсмичность площадки строительства оценивается как 7 баллов.

По сложности инженерно-геологических условий территория классифицируется как сложная.

Основным объектом изучения является несколько зданий, расположенных в одинаковых инженерно-геокриологических условиях: здание лабораторного корпуса, канализационная насосная станция очищенных стоков, канализационная насосная станция бытовых стоков, блок-бокс котельной и станция подготовки питьевой воды.

В качестве фундамента приняты буроопускные металлические сваи диаметром 219 мм длиной 12,0 м, с острием 0,35 м, погруженные с применением лидерных скважин диаметром 320 мм.

Нагружение свай при испытании на вдавливание производили отдельными ступенями: для стандартных - первые три ступени равны $1/5$ и далее $1/10$ от максимальной нагрузки, для ускоренных - $1/8$.

За максимальную нагрузку принимали нагрузку, превышающую проектную нагрузку в 3,0 раза при стандартных испытаниях и в 4 - 5 для ускоренных.

После каждой ступени нагрузки на сваю отсчеты по приборам снимались в следующей последовательности:

- при стандартном опыте - первый отсчет сразу после передачи нагрузки, затем через интервалы времени в 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 - 24 часов;

- при ускоренном опыте – первый и второй отсчеты перед и после нагружения соответственно, затем последовательно в течении часа через каждые 15 минут 4 отсчета и далее через каждые 60 минут до окончания ступени нагружения.

Величина измеренной температуры грунтов на глубине нулевых годовых колебаний температур составляет от минус 0,4 °С до минус 0,7 °С.

Камеральная обработка результатов контрольных испытаний в многолетнемерзлых грунтах базировалась на основе выполнения условия: $F \leq F_u / \gamma_n$ (F – проектная предельная величина нагрузки на основание; F_u – несущая способность, полученная на основании выполненного натурного опыта; γ_n - коэффициент надежности) с учётом рекомендаций ГОСТ 5686-2020 и СП 25.13330.2020.

Значение несущей способности свай рассчитывалось без учета мощности слоя сезонного слоя промерзания-оттаивания (СМС-СТС). При расчете несущей способности учитывали дополнительные коэффициенты: 0,9 (территория попадает в зону сейсмичности 7 баллов) и 0,65 (кратковременность испытания).

В обработке использовали всего 22 испытания свай, выполненные различными методиками – по 11 штук для каждой на 11 сооружениях, т.е. по 1 каждой методикой для каждого из рассматриваемого участка.

Территория для выполнения опытных работ имела размеры 300x300 м, инженерно-геокриологические условия для каждого здания и сооружения сопоставимы.

Частное значение предельно длительного сопротивления сваи по результату испытания с динамометрическим нагружением определяли в результате построения графика $P = f(T)$, как значение нагрузки на последней ступени, при которой наступает условная стабилизация нагрузки, т.е. ее относительное постоянство.

За частное значение предельно длительного сопротивления сваи по результату стандартного испытания многолетнемерзлых грунтов сваей принимали величину передаваемой наибольшей нагрузки с коэффициентом 0,65, учитывающим кратковременность испытания – 7 суток.

Осредненная величина осадки свай при ускоренных испытаниях равна 1,23 мм, а для стандартных - 1,73 мм, ошибка по среднему значению - 29%

Величины средних значений нагрузок на свайные фундаменты, полученные в результате натурных контрольных испытаний грунтов сваями при ускоренных больше, чем стандартных, ошибка - 10%: 217 кН > 195 кН (рисунок 1).

Следует отметить, что в сравнительном анализе участвовали одинаковые сваи как по длине, так и по диаметру.

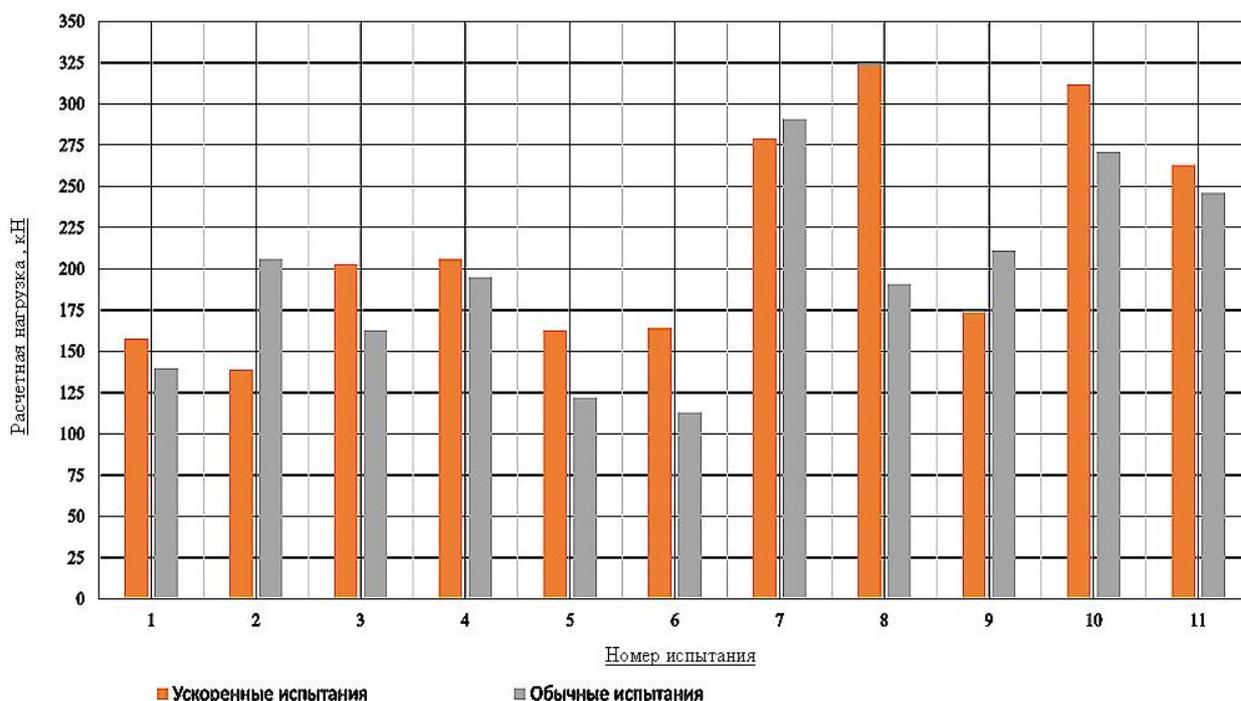


Рисунок 1. Диаграмма изменения расчетной нагрузки по результатам полевых испытаний

Выводы

Динамометрические испытания значительно сокращают время выполнения опыта и, следовательно, ускоряют процесс получения необходимой разрешительной документации для дальнейшего массового погружения всего свайного основания и ведения строительномонтажных работ верхних конструкций.

Однако данные испытания не отражают действительность природы процесса взаимодействия системы «мерзлое основание-фундамент» по причине специфических свойств характерных для многолетнемерзлых грунтов, а именно быстрое нагружение на мерзлые грунты

приводит к увеличению их «мгновенной» прочности, в то время как при длительном процессе наблюдаются свойства ползучести.

Следовательно, время, отведенное на выдержку каждой ступени нагружения испытываемой сваи - 4 часа, будет не слишком мало для оценки несущей способности. Еще одним из важных требований при выполнении ускоренных испытаний является выполнение рекомендаций, описанных в пункте Р.4 приложения Р ГОСТ 5686-2020, а именно: «Нагрузка при испытании должна быть доведена до конечного значения, которая оказывается практически постоянной на последних трех ступенях нагружения».

Анализируя данное требование, можно сделать вывод что максимальная нагрузка, принятая в ходе проведения опытов и равная в 4-5 раз больше проектной не достаточна, так как постоянство нагрузки на последних ступенях не наблюдается.

Следовательно, максимальную нагрузку необходимо увеличивать в 7-8 раз для получения достоверной информации.

С экономической точки зрения стоимость выполнения строительно-монтажных работ на подготовительном этапе (погрузочно-разгрузочные и количество пригруза) необходимых для проведения стандартных испытаний больше в 2,7 раза чем при ускоренных, в части изыскательских разница составляет 1,2.

Учитывая, что ГОСТ 5686-2020 допускает проведение статических испытаний свай в многолетнемерзлых грунтах ускоренным методом, то данная методика может быть применена только для сооружений нормального уровня ответственности и при небольших проектных нагрузках для соблюдения требований по технике безопасности.

Библиография

1. Zhang J., Zhang Z., Zhang S., Brouchkov A., Xie C., Zhu S. Numerical simulation of the influence of pile geometry on the heat transfer process of foundation soil in permafrost regions //Case Studies in Thermal Engineering. – 2022. – Т. 38. – С. 102324.
2. Guan J., Zhang X., Chen X., Ding M., Wang W., Yu S. Influence of seasonal freezing-thawing soils on seismic performance of high-rise cap pile foundation in permafrost regions //Cold Regions Science and Technology. – 2022. – Т. 199. – С. 103581.
3. Hjort J., Streletskiy D., Doré G., Wu Q., Bjella K., Luoto M. Impacts of permafrost degradation on infrastructure. //Nature Reviews Earth & Environment. – 2022. – Т. 3. – №. 1. – С. 24-38.
4. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства участка газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 4. С.41-55.
5. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Оценка несущей способности свай. Методы расчета и проблематика // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2019. - Т. 330. - № 10. – С. 7–25.

Сравнительный анализ механических свойств грунтов, полученных на полевой Лаборатории Литвинова ПЛЛ-9 и на приборах компрессионного сжатия КПП-1

Парамзина К.С. (МГРИ, ksuchaparamzina@mail.ru),
Горобцов Д.Н (МГРИ, gorobtsovdn@mgri.ru)*

Аннотация

На сегодняшний день полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9 практически не применяется при проведении инженерно-геологических изысканий. Прибор был создан для ускоренных исследований деформационных свойств грунтов в полевых условиях, однако у современных инженеров-геологов в приоритете лабораторные компрессионные приборы и приборы трехосного сжатия. Это обусловлено тем, что испытания в полевой лаборатории не автоматизированы, а методика опытов не прописана в нормативной документации. Однако стоимость лабораторных методов определения деформационных свойств грунтов значительно превышает стоимость полевых.

Ключевые слова

Компрессионные испытания, полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9, одометрический модуль.

Теория

Полевые лаборатории системы И. М. Литвинова предназначаются для ускоренных исследований строительных свойств грунтов в полевых условиях. Исследования грунтов приборами полевой лаборатории производят непосредственно в поле или на строительной площадке. Приборы полевой лаборатории также можно использовать и в стационарных лабораториях.

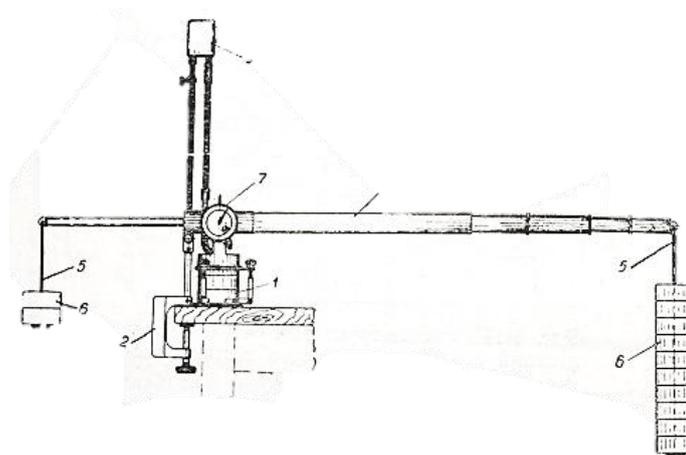


Рисунок 1. Схема установки компрессионного прибора 1- основная часть прибора; 2-зажимное устройство; 3-штатив с воронкой; 4- рычажная система; 5-подвески к рычагу; 6-гири; 7- индикатор

Опорная часть прибора выполнена в виде легкого переносного зажимного (крепежного) устройства, обеспечивающего возможность временного крепления опорной части рычажного или иной конструкции загрузочного устройства к различным из имеющихся в полевых условиях столам, доскам, скамьям и другим предметам. Компрессионный прибор состоит из грунтоотборной гильзы, зажатой между основанием прибора (с нижним дренажным диском) и

верхним направляющим цилиндром (с загрузочным поршнем и верхним дренажным диском), зажимного устройства, штатива с воронкой и рычажной системы.



Рисунок 2. Общий вид компрессионного прибора полевой лаборатории в работе

Раздвижное рычажное приспособление имеет размеры, обеспечивающие передачу на шток компрессионного прибора заданной нагрузки. Когда расчетная нагрузка на образец невелика, а также в стесненных условиях, при невозможности выдвинуть рычаг на полную длину, можно пользоваться рычагом уменьшенного вдвое размера (выдвигают отдельные секции рычага не на полную длину). В этом случае величина давления на образец, передаваемого нагрузкой гири на подвеску, уменьшается вдвое, в результате чего количество укладываемых на подвеску гирь должно быть соответственно увеличено.

Для определения характеристик m_0 (коэффициент сжимаемости), E_{oed} (одометрический модуль деформации) по результатам испытания для каждой ступени нагружения вычисляют: абсолютную вертикальную деформацию образца грунта Δh , мм, как среднеарифметическое значение показаний измерительных устройств; относительную вертикальную деформацию образца грунта $\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h}$

Одометрический модуль деформации E_{oed} в заданном интервале давлений $\Delta\sigma$, вычисляют по формуле:

$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$, где $\Delta\varepsilon$ - изменение относительной деформации, соответствующее $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma$ - изменение абсолютной деформации.

Полученные значения абсолютной деформации необходимо перевести в относительные показатели деформации образца грунта. Относительная вертикальная деформация образца грунта ($\Delta\varepsilon$) - отношение абсолютной вертикальной деформации к начальной высоте образца. После определения одометрического модуля идет расчет модуля по результатам компрессионных испытаний (E_k), который вычисляется по формуле:

$E_k = E_{oed} * \beta$, где β - коэффициент, учитывающий ограничения по расширению образца в стороны.

Коэффициент β рассчитывают по формуле:

$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$, где ν – коэффициент поперечной деформации, который определяется по результатам испытаний в приборах трехосного сжатия или в компрессионных приборах с измерением бокового давления.

В СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» используется коэффициент m_{oed} для перевода одометрического модуля в компрессионный.

Таблица 1

Значения коэффициента m_{oed} при коэффициенте разной пористости

грунты	Значения коэффициента m_{oed} при коэффициенте пористости e_i равном					
	0,45-0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	2,8	2,5	2,1	1,4	-	-
Суглинки	3	2,7	2,4	1,8	1,5	1,2
Глины	-	2,4	2,4	2,2	2	1,8
Примечание - Для промежуточных значений e коэффициент m_{oed} определяют интерполяцией						

В полевой лаборатории Литвинова ПЛЛ-9 и на приборах компрессионного сжатия КПП-1 используется разные кольца, параметры которых сведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры колец для ПЛЛ-9 и КПП-1

прибор	объем кольца, V см ²	высота кольца, h мм
ПЛЛ-9	50	20
КПП-1	147	25

В ходе исследований были использованы моренные отложения. Для глинистых грунтов из проб нарушенного сложения приводилось определение консистенции при нарушенной структуре, природной влажности, влажности на границе текучести и на границе раскатывания; из проб ненарушенного сложения приводился полный комплекс определений физических свойств грунтов; дренированное испытание для определения характеристик прочности и деформируемости при трехосном сжатии глинистых грунтов, компрессионные испытания грунтов.

Для сравнительного анализа механических свойств грунта было проведено испытания на различных приборах и в нескольких независимых лабораториях. Опыты проводились в грунтоведческой лаборатории на базе Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе. Также была использована грунтоведческая лаборатория компании ООО «Желдорпроект», где проводились компрессионные испытания и трехосного сжатия на приборах АИК «АСИС».

Таблица 3

Полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9	Прибор компрессионного сжатия КПП-1 лаборатория	Трехосное сжатие лаборатории ЖДП
E_{oed}	E_{oed}	E
7,69	8,4	32,6
6,06	8,7	24,3

5,56	10,1	32,7
7,69	8,5	26,8
6,45	9,3	26,2
6,53	7,1	23,2
5,13	6,4	29,7
3,92	6,8	-
7,41	-	-
6,06	-	-
6,84	-	-
7,21	-	-
среднее значение		
6,6	8,1	27,9

Выводы

Значения одометрических модулей различаются в 1,2 раза. В ходе исследования, выявлены значительные преимущества полевого прибора, а также обоснована корректность использования результатов компрессионных испытаний, полученных на полевом приборе, при проведении инженерно-геологический изысканий.

Библиография

1. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов полевой лабораторией системы И.М. Литвинова, УССР. Совет нар. хозяйства Харьк. экон. адм. района. Упр. электротехн. и радиотехн. пром-сти. Завод маркшейдерских инструментов. - Харьков, 1958г. – 54 стр.

Методы геодезического мониторинга объектов культурного наследия

Патик А.А. (МГРИ, alpt0053@gmail.com),

Дамрин А. Г. (МГРИ, damrin79@mail.ru)

Аннотация

Объекты культурного наследия играют важную роль в жизни общества. С течением времени появляется острая необходимость в наблюдениях за их сохранностью. Такие объекты характеризуются конструктивной оригинальностью и сложностью применяемых технологий, что в свою очередь вызывает интерес и сложности в проведении работ. Поэтому данные сооружения требуют особого подхода к проверке их текущего состояния, особенно при реконструкции и реставрации. Наиболее эффективным способом является геодезический мониторинг.

Целью проведения исследований является сохранение важных объектов строительства и продление сроков эксплуатации. Геодезические методы применяются для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений искусственных сооружений, земной поверхности, грунтового массива по глубине, конструкций зданий и сооружений.

Ключевые слова

Объекты культурного наследия, геодезический мониторинг, геодезические методы, лазерное сканирование, осадки, горизонтальные перемещения.

Теория

Геодезический мониторинг предоставляет эффективный инструмент для сбора, обработки и анализа пространственных данных в целях реконструкции исторических объектов, обеспечивая высокую точность и объективность информации, что способствует сохранению и презентации культурного и исторического наследия.

В работе по организации геодезического мониторинга нами выделено шесть основных этапов: подготовительный; разработка и согласование программы мониторинга; установка пунктов опорной сети (реперов); установка пунктов наблюдательной сети (деформационных марок); исходный (нулевой) цикл измерений; мониторинг. На данном этапе осуществляются периодические измерения вертикальных и горизонтальных перемещений, наклонов (кренов) [1].

Перечень используемых геодезических методов устанавливается в программе мониторинга в зависимости от требуемой точности измерений, степени автоматизации измерительного процесса, конструктивных особенностей контролируемых объектов. При проведении мониторинга геодезическими методами осуществляется измерение следующих параметров: наклоны (крены); горизонтальные перемещения (сдвиги); вертикальные перемещения (осадки, вертикальные сдвиги, просадки, подъемы, прогибы и т.п.);

Рассмотрим способ геометрического нивелирования позволяющий определить вертикальные перемещения (осадку).

Основным достоинством являются высокая точность, быстрота и простота, а также удобство проведения измерений. Данный способ применяется на открытых и легкодоступных точках сооружения. В настоящее время широкое применение получили цифровые нивелиры с кодовыми рейками, что позволяет выполнять измерения с высокой точностью [2].

Помимо геометрического нивелирования широко применяют и другие методы отслеживания деформаций, такие как фотограмметрия и лазерное сканирование. Фотограмметрический метод в сравнении с лазерным сканированием имеет некоторые неточности в получаемых данных [6]. Преимущества лазерного сканирования заключаются в гораздо большей скорости выполнения работ, а получаемые данные, за счет большей плотности снимаемых точек, отличаются точностью и трехмерным видом модели. Недостатком является высокая стоимость производства работ таким методом и применяется в основном только для

проектов, требующих высокой точности для исключения ошибок человека, т.к. выполняется полностью в автоматическом режиме. Лазерное сканирование представляет собой технологию, позволяющую за короткие сроки построить 3D модель исследуемого объекта[3]. Такая модель состоит из множества точек (облако точек), каждая из которых имеет свои координаты в трехмерном пространстве. Существует несколько видов лазерного сканирования: воздушное, мобильное и наземное. В исследовании технического состояния объектов культурного наследия применяется именно наземное сканирование. При сканировании происходит автоматическая регистрация положения точек в пространстве, что обеспечивает высокую точность получаемого результата [4].

В рамках изучения наземного лазерного сканирования объектов культурного наследия была рассмотрена "Московская удельная контора, 1880-е гг." рисунок 1. Находящаяся по адресу: Москва, Гоголевский бульвар, 12 с1. Задачей исследования здания является архитектурный обмер фасада объекта культурного наследия для последующей реставрации. Для выполнения поставленной задачи использовался сканер Leica Scanstation P20. Количество точек: 320 млн. точек. Срок выполнения работ составил 7 календарных дней.

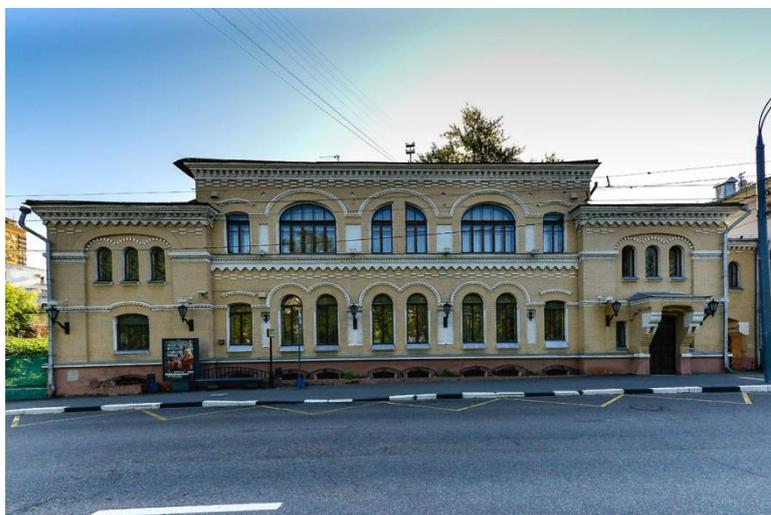


Рисунок 1. Фасад здания

После того, как было выполнено сканирование объекта и были собраны необходимые данные, начинается этап камеральной обработки полученного облака точек (рисунок 2). Камеральная обработка проводится с целью подготовки итогового результата, а также технического заключения и комплекта документации по объекту. На камеральном этапе происходит обработка данных полевых измерений, все полученные результаты оцениваются на предмет их точности, а уже далее производится создание обмерных чертежей и построение 3D моделей.



Рисунок 2. Облако точек

Единый скан объекта содержит миллионы отдельных точек, представляющих поверхность фасада или других объектов. Этот продукт затем интерпретируется с использованием специальных программ по постобработке облака точек, например, используются такие программы, как: Cyclone от Leica Geosystems, AutoCAD, MicroStation, Rhinoceros и другие.

Следующим необходимым этапом обработки является трансформирование координат для точного представления будущего чертежа и приведение его в единую систему координат, так как у каждого отдельного скана имеется своя система координат в зависимости от точки стояния прибора (рисунок 3). Затем создаются ортогональные проекции по снятому объекту, а также двумерные чертежи для совмещения с исходной документацией сооружения и выявления отклонений от проекта.

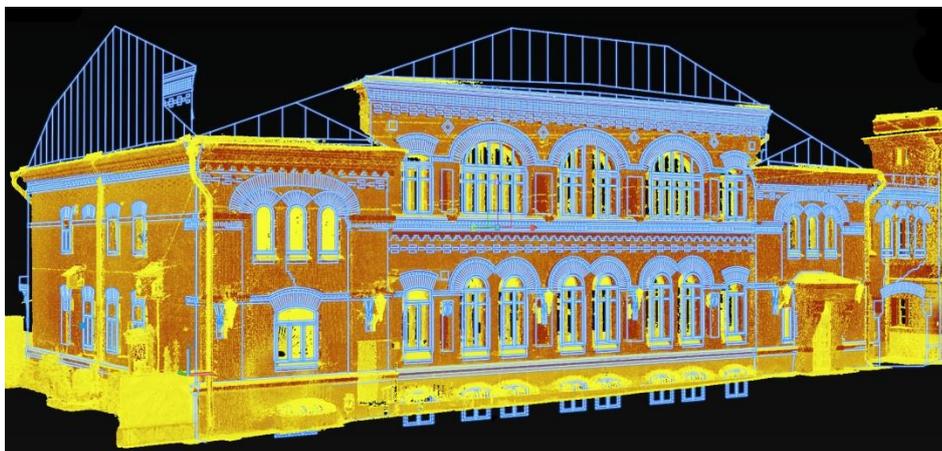


Рисунок 3. Совмещение облака точек и граней

Полученный результат сочетает в себе геометрические свойства обмерного чертежа и визуализацию объекта, модель, полученная при помощи наземного лазерного сканирования, отличается высокой точностью и детальностью изображения для выполнения дальнейших работ по реконструкции и реставрации [5]. Большим преимуществом работой с такими данными является возможность создания сечения по облаку точек. Сечения могут создаваться в вертикальной, горизонтальной или наклонной плоскостях в заданном месте. По ним могут быть

определены необходимые размеры. Полученные сечения также можно совмещать с чертежами вновь запроектированных объектов и вовремя вносить необходимые изменения.

Выводы

Геодезические данные активно используются в процессе консервации и реставрации археологических объектов. Знание точных параметров и геометрии объектов позволяет наиболее адекватно подходить к процессу их восстановления, выбирая наилучшие методики и материалы, чтобы сохранить объекты для будущих поколений. Применение современных геодезических технологий, таких как лазерное сканирование и аэрофотосъемка, позволяет проводить мониторинг состояния исторических объектов, а также определять степень их сохранности, риски, связанные с естественными и антропогенными факторами.

Библиография

1. ГОСТ 56198-2014 Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники
2. Дамрин А.Г. Преимущества лазерного сканирования при инженерно-геодезических изысканиях // Геодезия и кадастры: производство и образование. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. - Белгород: 2021. - С. 16-20.
3. Дамрин А.Г., Силина А.Р. Особенности лазерного сканирования в инженерно-геодезических работах // Региональные проблемы гологии, техносферной и экологической безопасности. Мат-лы III Всероссийской научно-практической конференции. - Оренбург: 2021. - С. 362-365.
4. Перякина В.И., Дамрин А.Г. Особенности лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). - 2015. - С. 727-736.
5. Степанова О.С. Анализ способов геодезических наблюдений за деформациями применительно к объектам культурного наследия.
6. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / Обиралов Б.Н., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. М.: КолосС. - 2006г.

*Новые данные о тенденциях изменения мощности деятельного слоя на торфяниках в зоне
массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород
Пешкин Е.С.* (Тюменский индустриальный университет, pehkin3418@mail.ru),
Марин В.Н. (Тюменский индустриальный университет, viktormarin6696@gmail.com),
Гравис А.Г. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Российский государственный
геологоразведочный университет (МГРИ), ag.gravis@gmail.com)*

Аннотация

При выполнении экспедиционных работ в 2023 г. в северной тайге Западной Сибири были получены данные о том, что в определенных условиях максимальные глубины протаивания пород не отличаются от значений прошлого века (0,7-0,8 м), опровергается версия о повсеместном опускании кровли многолетнемерзлых пород под влиянием потепления климата.

Ключевые слова

Многолетнемерзлые породы, глубина протаивания пород, понижение кровли многолетнемерзлых пород, изменение климата.

Источники финансирования

Работа выполнена институтом криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012).

Теория

В северной тайге Западной Сибири на Надымском геокриологическом стационаре института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН с 70 гг. XX века ведутся наблюдения за изменением глубины сезонного протаивания пород. Эти наблюдения являются частью фонового геокриологического мониторинга и должны быть положены в основу геотехнического мониторинга для территории размещения действующих и планируемых гражданских и промышленных объектов в северной тайге, где ММП имеют прерывистое и островное распространение. Выявленные тенденции изменения природных условий должны позволить разработать рациональные методы управления мерзлотными процессами. Результаты мониторинга свидетельствовали о прогрессирующем увеличении глубины протаивания многолетнемерзлых пород (ММП) под влиянием изменения климата и даже о погружении кровли многолетнемерзлых пород на глубину до 3-7 м на всех криогенных ландшафтах (плоских торфяниках и буграх пучения), формировании мерзлоты несливающегося типа [1,2]. Эти изменения негативно сказываются на устойчивости зданий и дорог, поэтому летом 2023 г. Центр изучения Арктики профинансировал организацию 3 новых профилей в районе стационара, для уточнения полученных ранее данных и увеличения их достоверности. Для оценки тенденций изменения климата привлекались данные метеостанции Надым, расположенной в 30 км к северу от мест проведения исследований. По данным этой метеостанции в 1961-1990 гг. норма среднегодовых температур воздуха составляла -5,9 °С, в 1991-2020 гг. -4,5 °С. В 2020 среднегодовая температура воздуха впервые составила -0,6°С. Рост температуры был неравномерным: в 1961-1999 г. - 0,04 °С в год, в 1991-2020 гг. 0,08 °С в год. Длительность теплого периода увеличилась на 15-20 дней. Возросло количество зимних и летних атмосферных осадков.

Природные условия

Участок исследований расположен на территории Надымского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) в северной тайге, на междуречье р Надым и ее левых притоков, в пределах озерно-болотного типа местности, на III озерно-аллювиальной и V морской равнинах в зоне массивно-островного распространения ММП. Абсолютные отметки поверхности, в

среднем, изменяются от 25 до 45 м [4]. Основная поверхность равнин слабобрасчлененная, заболоченная, болота разделены массивами плоских и крупнобугристых торфяников, к которым приурочены острова мерзлоты. Под болотами кровля ММП в настоящее время находится на глубине 8-10 и более метров [3]. Верхняя часть разреза равнины сложена песками разнородными, преимущественно мелкими и средними, пылеватыми с маломощными линзами и прослоями супесей и суглинков, которые с глубины 4-8 м сменяются суглинками среднелдыстыми. Песчаные отложения в пределах торфяников перекрыты органическим слоем, мощность которого изменяется главным образом от 0,30 – 0,75 м, достигая 6 м на одном из бугров пучения. В приречных частях равнин, на дренированных песчаных поверхностях под лесами ММП отсутствуют.

Методика исследований

Измерение глубины протаивания выполняется двухметровым щупом у марок постоянной сети. Измерение выполняются преимущественно в конце теплого периода. При необходимости полученные в ходе полевых работ данные пересчитывались на максимальные значения [5]. Постоянная сеть включала 11 объектов наблюдения (Таблица 1).

Таблица 1

Характеристика объектов наблюдения

№ п/п	Название	Год начала работ	Количество точек наблюдений (площадь, м ² или длина профиля, м)	Средняя глубина протаивания (на участках сливающейся мерзлоты) (количество точек)	Для площадок % точек с несливающегося типа от общего числа) в 2023 г.
1	Площадка I-97	1997	121 (100 м ²)	117 (2)	98
2	Площадка II-13	2013	121 (100 м ²)	100 (53)	56
3	Площадка III-22	2022	121 (100 м ²)	149	28
4	Площадка IV-22	2022	121 (100 м ²)	88	46
5	Профиль I-84	1984	103 (500)	>200	103
6	Профиль II-84	1984	115 (500)	>200	100 (115)
7	Профиль III-84	1984	113 (500)	>200	100 (113)
8	Профиль V-09	2009	24 (500м)	93 (12)	12 (50)
9	Профиль II -23	2023	55 (780 м)	60 (28)	27
10	Профиль I-23	2023	54 (883м)	61 (40)	14
11	Профиль III-23	2023	50 (712 м)	62 (34)	16

При организации новых профилей в 2023 г. учитывались следующие требования заказчика: на профиле должно быть не менее 50 точек, из них в 30% точек кровлю ММП можно обнаружить щупом. Архивные данные мониторинга позволяли предположить, что следует избегать участков торфяников с нарушенным или угнетенным растительным покровом, болот с открытой водой. В ходе полевых работ 2023 г. были выполнены замеры на 8 объектах, на 3 новых профилях. Общее количество замеров составило 998. Вдоль всех новых профилей было выполнено детальное ландшафтное описание и составлены обобщенные ландшафтные карты – схемы, одна из которых приведена на рисунке 1.



Рисунок 1. Ландшафтная карта схема профиля I-23. Условные обозначения: 0-1 – озера, 3-1 – бота без экзогенных геологических и криогенных процессов, 4-2 – плоскобугристые торфяники – со следами проявления парагенеза процессов в деятельном слое в прошлом, 5-4 – бугры пучения с проявлениями термокарста на вершинах

Результаты

На старых профилях (организованных в 1984 г.) количество точек, в которых глубина протаивания составляет менее 2 м значительно сократилось, а на некоторых объектах их не осталось совсем. На новых объектах, расположенных в криогенных ландшафтах глубина протаивания изменялась в 2023 г. от 0,52 до 1,41 м при средних значениях 0,79 м. Сравнение ландшафтных описаний показало, что на старых объектах наблюдений значительные площади занимают участки с угнетенным растительным покровом или лишенные его. На них до 2013 г. кровля ММП залегала на глубинах менее 2м, но к настоящему времени глубина увеличилась до 3-7 м. При организации новых объектов на таких участках марки не ставили, делая лишь заверочные замеры. Происхождение участков с нарушенным или угнетенным растительным покровом в настоящее время является спорным: некоторые исследователи называют их пятнами-медальонами. С нашей точки зрения это не совсем верно, но рассмотрение генезиса этих образований не является объектом данного исследования. Отметим только, что большая часть участков представляет собой понижения с минеральным грунтом на поверхности, которые постепенно зарастают. Вместе с тем, отмечены и участки, образованные недавно. Роль этих образований в увеличении глубины протаивания и погружении кровли ММП бесспорно велика, поскольку на этих участках зимой отмечено повышенное снегонакопление (в 2018, 2019 гг. при

снегомерной схемке), а летом происходит инфильтрация теплых дождевых вод, кроме того, отсутствие растительного покрова уменьшает альбедо поверхности. Соответственно, отсутствие названных участков на торфяниках способствует сохранению стабильного состояния ММП. В пределах площади исследования были выявлены многочисленные торфяники без участков с нарушенным или угнетенным растительным покровом и незначительной глубиной сезонного протаивания.

Выводы

В северной тайге Западной Сибири в условиях теплеющего климата сохраняются торфяники, на которых максимальная глубина сезонного протаивания пород практически не отличается от значений, характерных для 70 гг. XX века. Условия, благоприятные для стабильного сохранения глубины протаивания – ненарушенный растительный и значительная мощность торфа.

Библиография

1. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С. и др./ Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 2, с. 15–30.
2. Голубкова Я.А., Пономарева О.Е., Губарьков А.А., Гравис А.Г. и др. Новые данные об изменении деятельного слоя вдоль региональной трансекты от северной тайги до южной тундры (Западная Сибирь). Т. 4 // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» – М.: Издательство. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2023, стр. 352-355.
3. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / отв. Редактор В.П. Мельников; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 207 с.
4. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. – Новосибирск: Наука, 1983. – 165 с.
5. Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / Под редакцией Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 688 с.

*3D-моделирование местности и преобразование ортофотопланов по результатам
аэрофотосъемки*

Силина А.Р. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, silinaanastasia011@mail.ru),*

*Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)*

Аннотация

В работе рассматриваются технологии аэрофотосъемки, для реализации задач построения 3D моделей в программе Agisoft Metashape. Задача пространственного моделирования заключается в последующем построении ортофотопланов, которая помогает решать большинство прикладных геодезических задач и проводить фундаментальные исследования в различных научных отраслях. В работе раскрываются технические возможности выполнения аэрофотосъемки с помощью DJI Mavic 2 Pro и DJI Mavic Mini 2 и вопросы пространственного моделирования.

Ключевые слова

3D модель, ортофотоплан, аэрофотосъемка, облако точек, инженерно-геологические изыскания.

Теория

Создание 3D-моделей в инженерно-геологических изысканиях с помощью аэрофотосъемки является одним из эффективных методов изучения геологических формаций и разрезов. Для этого используются специальные программы, которые позволяют создавать точные модели поверхности и объема объекта на основе полученных данных. Основным инструментом, используемым для создания 3D моделей, является программа Agisoft Metashape, которая используется для обработки данных аэрофотосъемки. Эта программа использует алгоритмы фотограмметрии, которые позволяют создавать точные 3D-модели объектов на основе фотографий^[1].

Для создания 3D-моделей обнажений горных пород в геологических изысканиях используются аэрофотоснимки. Создание 3D-моделей позволяет получить более детальные представления о геологических формациях и разрезах. Контраст точек позволяет дать оценку состоянию геологических объектов, таких как выходы слоистых горных пород, коры выветривания, разломы, карст и другие^[2]. Благодаря этому методу возможно получить детализированную информацию о структуре геологических объектов, что позволяет прогнозировать их динамику в перспективе.

Кроме того, создание 3D-моделей при помощи аэрофотосъемки может использоваться в топографии, архитектуре, градостроительстве и дизайне.

При использовании метода создания 3D-моделей в геологических изысканиях при помощи аэрофотосъемки нами выявлены некоторые недостатки. Например, для получения высококачественных данных требуется использовать специализированное оборудование, которое может быть достаточно дорогим. Кроме того, обработка большого объема данных может занять значительное время, что непрактично в случае необходимости оперативной оценки ситуации^[5].

Ортофотопланы являются другим важным продуктом аэрофотосъемки. Они представляют собой изображения поверхности местности, в которых учитывается искажение, вызванное перспективой. Использование беспилотных летательных аппаратов для создания ортофотопланов позволяет получить точные аэрофотоснимки с высокой точностью.

Ортофотопланы также могут быть использованы для создания 3D моделей местности, путем сочетания нескольких изображений.

Ортофотоплан дает детальное представление о ситуации местности, служит базой для геодезических чертежей и широко используется в землепользовании, экологии, мониторинге экзогенных процессов и сельском хозяйстве^[3].

В качестве объекта исследования был выбран участок Волосово, расположенный в городском округе Чехов Московской области, где была выполнена фотосъемка с квадрокоптеров DJI Mavic 2 Pro и DJI Mavic Mini 2.

В результате работы было сделано 2500 снимков, по которым построена 3d модель и ортофотоплан в программе Agisoft Metashape.

В начале камеральной обработки результатов интегрируем фотоснимки в программу и выполняем их выравнивание в высоком качестве. Далее сопоставляем местоположение этих снимков реальному их расположению на местности для удаления лишних связующих точек.

По результатам выравнивания снимков строится плотное облако точек в трехмерной системе координат (рисунок 1).



Рисунок 1. Плотное облако точек Волосово.

После загрузки получаем более точную модель, на которой в высоком качестве удаляем лишние связующие точки. Для создания ортофотоплана этап построения полигональной модели возможно пропустить (рисунок 2).



Рисунок 2. Модель участка Волосово

Далее выполняется построение цифровой модели местности (ЦММ) (рисунок 3). Для этого расставляем маркеры на опорные точки на снимках и записываем их координаты (X, Y, Z) в установленной системе координат.

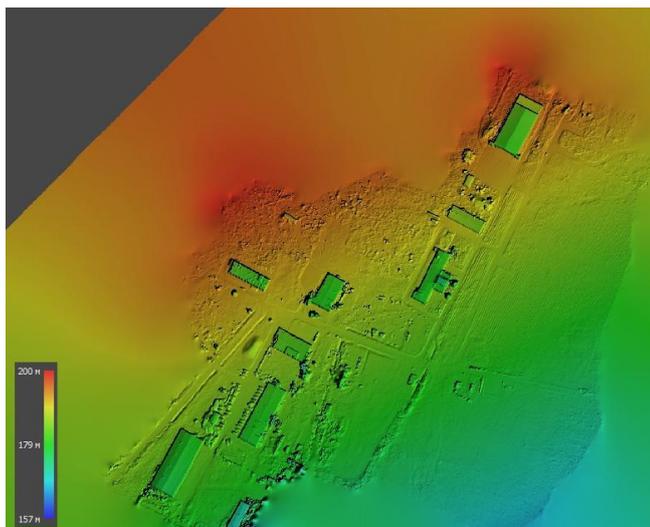


Рисунок 3. Цифровая модель местности Волосово

После построения ЦММ получаем ортофотоплан с привязкой к общепринятой системе координат WGS-84, по которому возможно выполнение прикладных и практических задач в инженерно-геологических изысканиях.

В результате был получен ортофотоплан аэродрома Волосово (рисунок 4).



Рисунок 4. Ортофотоплан участка Волосово

Возможности создания 3D моделей местности и ортофотопланов при помощи аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов доказали свою эффективность. Использование БПЛА в качестве платформ для аэрофотосъемки имеет большой потенциал для обследования небольших территорий и линейных исследований. Данные аэрофотосъемки позволяют получить высококачественный картографический материал в формате пространственных данных^[4].

Выводы

3D модели местности также могут использоваться в архитектуре и строительстве, для создания моделей зданий и инфраструктуры, а также в различных инженерных проектах для анализа территории и определения оптимального расположения объектов.

Создание 3D моделей с помощью аэрофотосъемки является инновационным решением, которое позволяет получать данные быстро, эффективно и с высокой точностью, что делает его перспективным для будущего.

Библиография

1. Дамрин А.Г. Создание 3D моделей местности и ортофотопланов // В сборнике: *Advances in Science and Technology*. Сборник статей LII международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 168-169.
2. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3D-крупномасштабных карт // *Славянский форум*. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
3. Силина А.Р., Дамрин А.Г. Создание 3D-моделей местности и ортофотопланов по результатам аэрофотосъемки // В сборнике: *Инженерные изыскания в строительстве*. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; ООО «Геомаркетинг»; Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей; «Союз изыскателей». Москва, 2023. С. 127-130.
4. Силина А.Р., Федорова А.Р., Дамрин А.Г. 3D-моделирование при помощи аэрофотосъемки // В сборнике: *Научный потенциал молодежи и технический прогресс*. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 56-57.

Оценка особенностей мониторинга оползневых процессов с помощью аэрофотосъёмки

Собченко А.А. (МГРИ, Vambi.201202@gmail.com),

Дамрин А. Г. (МГРИ, damrin79@mail.ru)

Аннотация

В настоящее время актуально стоит вопрос изучения мониторинга активных геодинамических процессов, таких как оползни. С развитием технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) методика проведения аэрофотосъёмки значительно упростилась. Появилась возможность проводить данную съёмку повсеместно, не учитывая излишнюю логистику, наличие взлётно-посадочных полос. Это позволяет проводить мониторинг методом аэрофотосъёмки вне зависимости от сезона, также с большей частотой и качеством. Обработка данных аэрофотосъёмки выполняется в соответствующем программном обеспечении, что также ускоряет и упрощает процесс обработки. Результатом является цифровая модель рельефа, которая отображает положение точек местности. Сопоставление между собой моделей местности в разные временные промежутки, позволяет отследить динамику развития геодинамических процессов.

Сложность проведения мониторинга оползня без использования методов ДЗЗ заключается в большой площади объекта мониторинга, большим количеством физических препятствий и возможной угрозе как оборудованию, так и исполнителю.

Ключевые слова

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА), дистанционное зондирование земли (ДЗЗ), мониторинг, геодинамические процессы, оползень.

Теория

Среди опасных геологических явлений, несущих угрозу как людям, сооружениям и народному хозяйству выделяют оползни. Для проведения наблюдения оползневых процессов, отслеживания их динамики и распространение по территории. Существуют методики выполнения мониторинга при помощи БПЛА. Рассмотрим метод качественного мониторинга с использованием БПЛА и ГНСС систем.

Начальным этапом, является рекогносцировка участка, которая включает в себя предварительную разведку для получения информации об объекте исследования [3]. Могут быть уточнены возможные препятствия, место для взлёта и посадки БПЛА, недоступные зоны для съёмки. Также проводится изучение снимков прошлых лет, для изучения ретроспективы и выявления закономерности протекающего процесса.

Следующий этап - закрепление реперов при помощи оборудования ГНСС. В результате изучения оборудования нами рекомендован приемник EFT M4, который позволяет обеспечить точность и информативность оптимальные для выполнения закрепления координат пунктов. Точность определения положения точки в статике и быстрой статике составляет в плане: 2,5 мм + 0,3 мм/км, по высоте - 5 мм + 0,5 мм/км. Отслеживание плано-высотное перемещение положения пунктов позволяет выполнять мониторинг динамики оползневого процесса.

Далее следует составление полётного задания [2]. На местности закладываются реперы, которые будут видны с высоты полёта БПЛА, так и иметь центр, по которому будет отслеживаться плано-высотное смещение. Пример закрепления репера на территории оползневых процессов показан на (рисунке 1).



Рисунок 1. Закрепление реперов по территории

Проводя съёмку при помощи БПЛА, с определённым временным интервалом, имея фиксированные пункты можно отслеживать и прогнозировать динамику протекания процесса [5] (рисунок 2).

Для составления полётного задания целесообразно использовать аэрофотосъёмочный комплекс Geoscan Gemini. Gemini, который является продуктом нового российского поколения компании Geoscan, сочетающий технологичность и высокую производительность, позволяющий достигать необходимой плановой точности фотограмметрической модели.



Рисунок 2. ЦМР оползневого процесса

Выполнения аэрофотосъемки в настоящее время является целесообразным и необходимым методом в различных сферах деятельности [1]. Целевое использование таких технико-технологических вооружений приведет к интенсивному развитию системы мониторинга и моделирования окружающей среды [4].

Выводы

Подводя итоги, можно сказать, что проведение мониторинга оползневых процессов методом аэрофотосъемки значительно повышает не только скорость проведения работ, но и безопасность съёмки. Также повышается достоверность и объективность результатов за счёт проведения большинства вычислений программным обеспечением с возможностью исключения грубых ошибок и детализацией выполнения работ.

Библиография

1. Дамрин А.Г. Создание 3D моделей местности и ортофотопланов // В сборнике: *Advances in Science and Technology*. Сборник статей LI международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 168-169.
2. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3D-крупномасштабных карт // *Славянский форум*. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
3. Силина А.Р., Дамрин А.Г. Создание 3D-моделей местности и ортофотопланов по результатам аэрофотосъемки // В сборнике: *Инженерные изыскания в строительстве*. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; ООО «Геомаркетинг»; Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей; «Союз изыскателей». Москва, 2023. С. 127-130.

4. Федорова А.Р., Дамрин А.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов при проведении изысканий для строительства// В сборнике: Инженерные изыскания в строительстве. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; ООО «Геомаркетинг»; Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей; «Союз изыскателей». Москва, 2023. С. 122-126.

5. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / Обиралов Б.Н., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. М.: КолосС. - 2006г.

*Инженерно-геологическое районирование прибрежных территорий Волгоградского
водохранилища*

Степанова М.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный
университет имени Серго Орджоникидзе», Stepanova-mariya2702@yandex.ru),
Экзарьян В.Н. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе», vnekzar@rambler.ru)*

Аннотация

Представленные результаты инженерно-геологического районирования прибрежных территорий Волгоградского водохранилища позволяют выявить особенности протекания процессов перестроения берегов и являются своеобразной геоподосновой для моделирования и прогнозирования изучаемого процесса.

Ключевые слова

Инженерно-геологическое районирование, Волгоградское водохранилище, процесс перестроения берегов.

Теория

Изучение особенностей функционирования водохранилищ теснейшим образом связана с проблемами использования водных ресурсов, защиты окружающей природной среды и собственно энергетической проблемой использования стока. Одним из основных процессов, оказывающих негативное влияние на береговую инфраструктуру, является перестроение прибрежных территорий [4]. Интенсивность распространения и характер проявления процесса различна и определяется регионально-геологическими и зонально-климатическими условиями территории [2].

В 40-50 годы XX века после строительства водохранилищ ГЭС перед специалистами возникла проблема организации и проведения наблюдений за развитием процесса переработки берегов [2]. В настоящее время ведутся бессистемные режимные наблюдения за процессами перестроения берегов на отдельных участках водохранилищ Волжского каскада.

Изучение переработки берегов равнинных водохранилищ сводилось в первую очередь к решению двух проблем:

1. Инженерно-геологическое районирование (ИГР) береговых склонов применительно к процессу переработки берегов;
2. Изучение факторов и условий, определяющих наличие и степень активности процессов берегообрушения.

Н.В. Коломенским и В.В. Дмитриевым [1] было предложено для выделения однородных по интенсивности процесса перестроения берегов водохранилищ (ППБВ) участков использовать принцип районирования по фактической величине переработки берега (ВПБ) [3]. Однако, отсутствие равноточных данных о ВПБ по всему периметру водохранилища и различие кинематических характеристик ППБВ для разных створов ставят в практических исследованиях задачу «комплексирования» принципов районирования по ВПБ, или – в общем случае – кинематическим характеристикам ППБВ, с принципами районирования по ряду берегоформирующих факторов.

Районирование прибрежных территорий водохранилищ по существующим данным мониторинговых наблюдений за 10-летний период за процессом переработки позволит выделить различные типы участков. На водохранилищах Волжского каскада выделяются три типа:

- высокие склоновые оползни;
- полускальные породы правобережья;
- песчано-глинистые склоны пойменных террас левого берега р. Волги.

Инженерно-геологическое районирование береговых склонов Волгоградского водохранилища основывается на принципах таксономического районирования И.В. Попова. Однородность выделенных участков при общем районировании определяется рассмотрением основного комплекса инженерно-геологических факторов.

По структурно-тектоническому признаку в пределах прибрежной территории Волгоградского водохранилища выделяются два региона. Регион Томковского поднятия (правый берег) и регион Прикаспийской синеклизы (левый берег).

Далее по геоморфологическому признаку выделяются область приволжских низких гор и область волжских террас и северо-западной лиманной части Прикаспийской низменности.

По инженерно-геологическим условиям в пределах областей выделено три типа районов: I – распространения четвертичных отложений; II – распространения палеогеновых отложений; III – распространения меловых отложений.

Районы I типа занимают все низкое левобережье водохранилища: по правому берегу он приурочен только к узким долинам Волжских притоков (рис. 1). Береговые уступы здесь сложены разнородными и связными породами четвертичного возраста: песками, супесями хазарского яруса ($alQ_{III}srp$), слоистыми «шоколадными» глинами хвалынского яруса ($mQ_{III}hv$), песками и супесями хазарского яруса ($alQ_{III}hz$), обладающими весьма низкой сопротивляемостью размыву.

В отличие от районов I типа районы II и III типов сложены довольно устойчивыми к размыву коренными породами.

Районы II типа (рис. 1) охватывают правый берег водохранилища (от южной окраины с. Щербаковки до плотины ГЭС). Береговые уступы сложены нижнесызранскими опоками (P_1sz_1), среднесызранскими песками (P_1sz_2), а также песками и песчаниками с прослоями глин камышенской (P_1k), пролейской (P_1pr) и царицынской свит (P_2tz) нижнего и среднего палеогена.

Районы III типа (рис. 1) включают в себя правый берег водохранилища от г. Саратова до южной окраины с. Щербаковка. Размываемые уступы здесь сложены плотными песками и глинами альбского яруса нижнего мела (K_1al), песками сено-манского (K_2cm), мергелями туронского (K_2t), опоками и глинами сантонского ярусов (K_2sn) верхнего мела. Характерной особенностью геологического строения этого района является наличие глинистых толщ нижнего мела, являющихся водоупором наиболее водообильного водоносного горизонта, заключенного в вышележащих песках сеноманского яруса. Это обусловило широкое распространение в пределах районов этого типа крупных оползневых деформаций, связанных с местами выхода глинистых толщ выше уреза «старой» Волги.

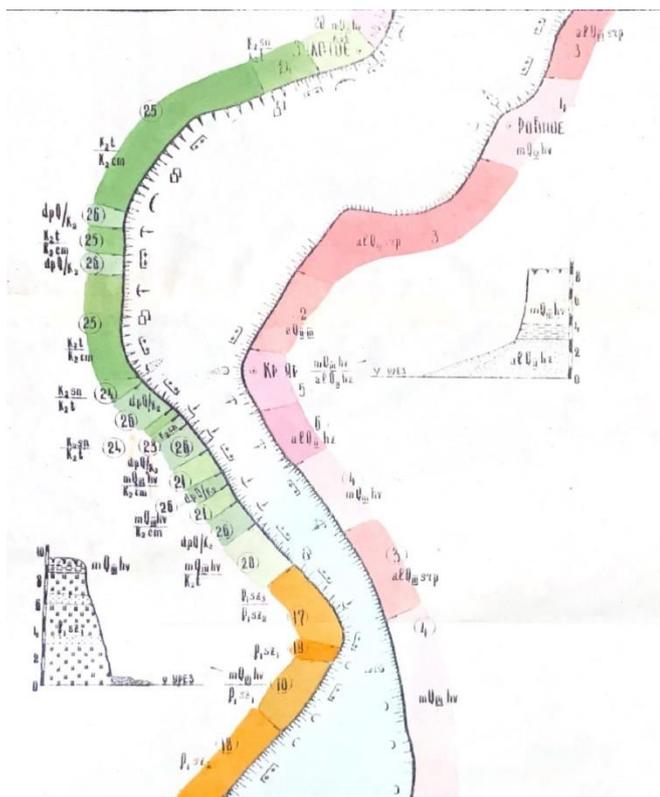


Рисунок 1. Карта-схема инженерно-геологических условий береговой зоны Волгоградского водохранилища (фрагмент). На рисунке: красно-розовым цветом выделены участки I типа (наиболее неблагоприятные для освоения вследствие значительных размывов), желто-коричневым цветом – участки II типа (довольно устойчивые к размыву), зеленым цветом – участки III типа (незначительные размывы, местами отсутствуют)

При районировании типовых участков, инженерно-геологические районы по морфологическим условиям подразделяются на участки (рис. 2). В пределах береговой зоны Волгоградского водохранилища имеют место два основных типа морфологических поверхностей: волжские террасы и водораздельные пространства (и, соответственно два типа участков А и Б).

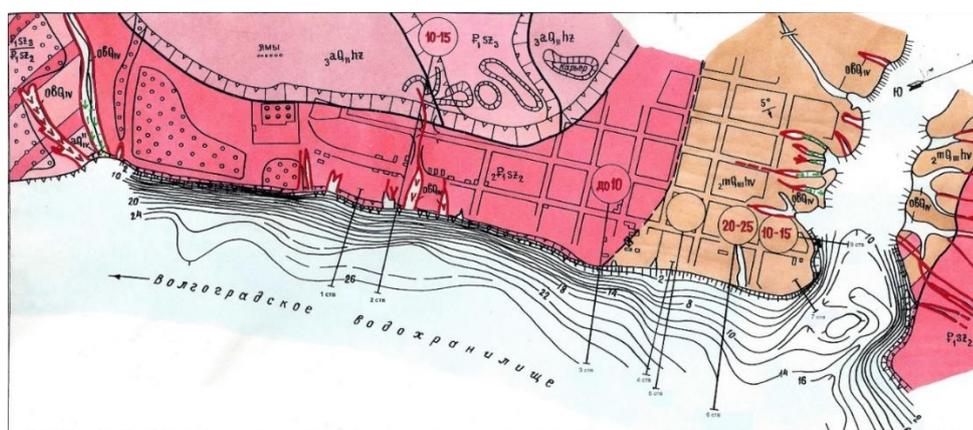


Рисунок 2. Типизация прибрежной территории по степени активности процесса переработки берега

Районы I типа объединяют в себе участки распространения только аккумулятивных форм рельефа (I, II и III надпойменные террасы р. Волги и ее притоков). Районы I и III типа включают в себя как высокие эрозионно-аккумулятивные террасы, так и водораздельные пространства. По признаку генетического типа склона выделены инженерно-геологические подучастки (обвальнo-осыпные и оползневые). Весь район I типа, а также участки типа ПА, ПБ, ПА включают в себя только один генетический тип берегового склона – обвальнo-осыпной. На участках типа ПБ наблюдаются оба генетических типа склона, причем оползневой является господствующим.

Выводы

Инженерно-геологическое районирование прибрежных территорий Волгоградского водохранилища позволило выявить специфику процесса переформирования берегов водохранилищ применительно к выделенным районам и участкам. Результаты районирования используются в качестве основы для дальнейшего моделирования и прогнозирования процесса переработки берегов.

Библиография

1. Дмитриев В.В. Исследование факторов, влияющих на переработку берегов водохранилищ: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 04.00.07. - Москва, 1974.
2. Епишин В.К., Экзарьян В.Н. Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. – М.: Энергия, 1979.
3. Коломенский Н.В. и др. Макет карты прогноза переработки берегов существующих водохранилищ. Изд. ВУЗов «Геология и разведка» №2, М., 1974.
4. Экзарьян В.Н. Перманентное моделирование и прогнозирование экзогенных геологических процессов. – Тр. Международной конференции «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики», М., МГУ, 2006 г.

К вопросу об изучении грунтов основания храма Тихвинской иконы божией матери в

Симоновом монастыре г. Москвы

*Тазина А.И. * (МГРИ, tazina2014@mail.ru),*

Лещук С.И. (МГРИ, LeshukS.E@yandex.ru),

Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru)

Аннотация

С конца XV века в русской строительной школе основным методом технической мелиорации грунтов основания было устройство свайного основания. В основном это были деревянные сваи-коротыши, предназначенные для уплотнения грунтов основания. Погружение свай производилось забивным способом. При этом происходило уплотнение вмещающего сваю грунта и создание вокруг тела сваи уплотненной зоны [5]. Шаг забивки свай был небольшой и уплотненные зоны соседних свай смыкались, создавая тем самым единый массив уплотненного грунта.

Источником процесса снижения несущей способности грунтов основания памятников архитектуры свайного периода, в первую очередь, является деструкция деревянных свай. На участках объектов культурного наследия развиты проницаемые отложения, не препятствующие миграции кислорода, а сваи зачастую находятся в зоне аэрации. Следствие этого – полное разложение свай до состояния древесного тлена и формирование на их месте полостей-«стаканов», частично заполненных вторичным материалом. Вследствие деструкции свай происходят физико-химические изменения грунтов основания, находящихся в околосвайном пространстве. Данные преобразования очень хорошо прослеживаются в грунтах основания Симонова монастыря в Москве.

Ключевые слова

Симонов монастырь, деструкция свай, капиллярная кайма, грунты основания, деревянные сваи.

Теория

Симонов монастырь был основан при правлении Дмитрия Донского в 1370-е годы племянником Сергия Радонежского преподобным Фёдором. Земли для строительства пожертвовал князь Степан Васильевич Ховрин, принявший монашество с именем Симон. В связи с этим произошло название монастыря. В XVI—XVII веках входил в пояс укреплений, защищавших подступы к городу с юга. Обитель упразднили в 1920 году, а в 1930-м уничтожили большинство построек [1]. Симонов монастырь в настоящее время является объектом культурного наследия федерального значения.

В административном отношении участок работ расположен по адресу: г. Москва, ул. Восточная, д. 4, стр. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8.

В геоморфологическом отношении территория монастыря расположена на границе Ходынской террасы р. Москвы и флювиогляциальной равнины. Рельеф участка относительно ровный, искусственно спланированный, с уклоном в юго-западном направлении и характеризуется абсолютными высотными отметками поверхности порядка 136,00 – 140,00 м.

Объектом настоящего исследования являются флювиогляциальные четвертичные отложения. Среди характерных черт строения флювиогляциальных отложений присутствуют такие, как неравномерная косая слоистость, свидетельствующая о высокой скорости потоков, формировавших эти отложения, неоднородность размеров частиц, их слагающих (от гравелистых и гравийных до мелких, с незначительной примесью пылеватых и глинистых), сочетающаяся с выраженным чередованием слоёв с большей и меньшей глинистостью (сформировано из-за неравномерного таяния ледника в разные сезоны года), для обломков, слагающих

флювиогляциальные грунты, характерна различная степень окатанности – от слабой с угловатыми частицами до сильной, при этом она также не равномерна.

В минеральном составе данных песков преобладает кварц и полевой шпат (последний в меньшей степени), при этом присутствуют обломки пород, предположительно магматического происхождения (в том числе гранаты), не характерные для коренных пород московского региона, но распространенные в области питания ледника (Балтийский щит). Породы эти встречаются в том числе и в виде грубообломочного материала, так же в данных отложениях органика встречается в незначительных количествах.

В геологическом строении площадки до глубины 50 м выделяются следующие отложения:

- современные техногенные образования (tQIV). Представлены песками средней крупности, малой степени водонасыщения;

- среднечетвертичные аллювиальные, флювиогляциальные отложения московского оледенения (a,fQIIms). Представлены песком от мелкого до гравелистого;

- среднечетвертичные ледниковые отложения московского оледенения (gQIIms). Представлены суглинком коричневым, тугопластичным, с прослоями песка, с вкл. до 5% щебня, дресвы;

- средне- и нижнечетвертичные флювиогляциальные, водно-ледниковые отложения московского и донского оледенения (f,lgQIds-IIms) представлены песком от пылеватого до крупного, водонасыщенным;

- юрские отложения верхнего отдела (J₃). Представлены супесью пластичной, суглинком тугопластичным, глиной полутвердой;

- каменноугольные отложения верхнего отдела (C₃). Представлены известняком водонасыщенным, трещиноватым.

Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием водоносного горизонта, приуроченного к средне- и нижнечетвертичным флювиогляциальным и лимногляциальным отложениям московского и донского горизонтов (f,lgQIds-IIms). Горизонт залегает на глубине 13,80-17,80 м и носит безнапорный характер. Нижним водоупором являются юрские отложения верхнего отдела. Территория монастыря, по отношению к Москве-реке, протекающей в трехста метрах от исследуемого объекта, находится на высоком берегу (перепад высот достигает 15 метров). Источником питания является метеорная вода (атмосферные осадки и таяние снега). Эта вода инфильтруется вниз и движется под уклоном по направлению к реке. Под известняковыми плитами полов в пределах контура сооружений, вода испаряется внутрь помещения. Соответственно, в связи с близким расположением области разгрузки, достаточного уклона и хороших фильтрационных параметров флювиогляциальных отложений, подземные воды активно дренируются в реку и присутствуют на исследуемом объекте только в период половодья и сильных паводков. Поэтому надморенный водоносный горизонт не является постоянным.

В подвале храма Тихвинской иконы Божьей Матери Симонова монастыря был пройден шурф для обследования фундаментов и грунтов основания. В результате была обнаружена темно-коричневая полоса, ориентированная в вертикальной плоскости, являющаяся границей движения капиллярной воды, вследствие фильтрации метеорной воды под подошвой фундамента (Рисунок 1а).



Рисунок 1 а) Вертикальная капиллярная кайма в подвальном помещении храма.
б). Изгиб слоев вследствие забивки свай

В процессе описания грунтов основания, было выделено 19 слоев, включающих в себя чередование более мелких слоев (мощностью до 1 см). Отмечено искривление горизонтальных слоев песка вследствие забивки конических деревянных свай (Рисунок 1б) [2]. Шаг забивки свай составляет 40 см. Слои представлены песком от мелкого до гравелистого с включением обломков пород, преимущественно, магматических. Гранулометрический состав изменяется в вертикальном направлении. Размер частиц убывает сверху вниз. На песчаных частицах были обнаружены «пленки» (тончайшие слои), обусловленные физико-химическими изменениями на поверхности зерен.

По наличию пленок, более мелкие слои подразделены на 4 подвида:

1. Красно-коричневый слой

1.1. Железистые пленки.

Цвет пленок охристый (желтоватый), у отдельных зерен рыжие.

1.2. Глинистые пленки.

Цвет пленок серые, от светлых до темных.

1.3. Пленки смешанного типа

Включают в себя типы 1, 2.

На части зерен присутствуют налипшие глинистые частицы (не часть пленок).

2. Серый слой

2.1. Присутствуют зерна без пленок.

- Кварц прозрачный

- Кварц молочный

Различие цвета обусловлено разными температурами формирования кристаллов.

2.2. Железистые пленки

- Полупрозрачные золотистые (возможно, из-за малой толщины)

- Полупрозрачные оранжевые

- Рыжие непрозрачные разных оттенков

2.3. Незначительное количество серых, предположительно, глинистых

3. Темно-коричневый слой

3.1. Железистые пленки

- Полупрозрачные золотистые (возможно, из-за малой толщины). Золотистый цвет более насыщенный, чем у серого слоя.

- Пленки от оранжевого до рыжеватого-розового с золотистыми чешуйками.

3.2. Глинистые пленки

От светло-серых до почти черных. На отдельных зернах присутствуют золотистые чешуйки.

3.3. Смешанный тип.

Представлены серыми глинистыми пленками с ярко выраженным слоем золотистых чешуек поверх них.

4. Рыжий слой

4.1. Железистые пленки

- Пленки янтарного цвета с золотистыми чешуйками.

- Пленки от рыжего до кирпичного цвета от полупрозрачных до матовых.

4.2. Пленки смешанного типа (железисто-глинистые). От желтовато-серого до темно-серого с наличием золотистых чешуек.

Во всех пленках присутствуют черные пятна. В марганцевых стяжениях малиново-бордовые пленки.

Выводы

Деструктурированные сваи представлены крупным песком средней степени окатанности, водонасыщенным, полимиктовым с включением органического вещества содержанием до 40% с включением крупнообломочного материала из вышележащих слоев, представленного слабоокатанными гравием, галькой и щебнем крупных кристаллов кварца и кремня, розового полевого шпата, известняка, также обломков магматических пород среднего и кислого состава разной степени выветрелости (от сильного до неизмененных). На фоне органического вещества черного цвета заполняющего поры частицы кварцевого песка сильно выделяются ярким белым цветом, что обуславливает отсутствие пленок вторичных минералов на их поверхности. Вокруг зоны сваи, имеющей цилиндрическую форму, практически на всем протяжении находится зона темного цвета №1 (Рисунок 1б), мощностью 3-4 мм, представлена такими же песком, но практически без органического вещества, влажным, сильно ожелезненным, при увеличении четко видны наличие пленок черного и коричневого цвета. Помимо зоны №1 выделяются еще 2 оболочки: зона №2 и зона №3 (Рисунок 1б). Зона №3 визуалью не отличается от зоны №1 и представляет собой 2-ой гидрогеохимический барьер. Зона №2 является зоной миграции порового раствора, насыщенного продуктами разложения древесины за счет капиллярных сил и гранулометрически не отличается от слоев, расположенных за границей зоны №3, но четко отличаются от них по цвету, что обусловлено физико-химическими изменениями на поверхности зерен. Толщина зоны №2 изменяется с глубиной 80 см до оголовка сваи до 5 см. При этом гранулометрический состав четко коррелируется со слоями вмещающего слоя грунта, изменяется только угол и падения к центру сваи, сформировавшейся в процессе забивки.

Библиография

1. Бондарев М.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Эволюция инженерно-геологических условий исторических территорий на примере памятников русской архитектуры XV-XVIII вв.».
2. Главные этапы развития Московской синеклизы / Р. Г. Гарецкий, М. А. Нагорный // Литосфера. – 2006. – № 2(25). – С. 14-24. – EDN NVIWZV.
3. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России : [монография] / Под ред. В. Т. Трофимова, Е. А. Вознесенского, В. А. Королева. – М. : КДУ, 2011. – 672 с. : тал., ил. ISBN 978-5-98227-753-4

4. Руководство по проектированию свайных фундаментов. НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР, М., Стройиздат, 1980

5. Шитова Л. Симонов монастырь: зеркало истории. — М.: Прогресс-традиция, 2016. — 736 с.

***Возможности использования беспилотных летательных аппаратов в инженерных
изысканиях***

***Федорова А.Р.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, angelinka.fedorova.02@mail.ru),
Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)***

Аннотация

Рассматриваются возможности использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в инженерных изысканиях. Акцент делается на геологические и геофизические исследования: применение в горнодобывающей отрасли, геологоразведке, оценке состояния карьеров, подземных шахт и их инфраструктуры, при использовании аэромагнитной съемки, создании ортофотопланов и цифровых моделей местности. Для проведения оценки результатов, полученных с использованием различных методов, был проведен анализ снимков геофизической съемки квантовым магнитометром ММС-214 с использованием авиации (масштаб 1:25000) и снимков с комплекса «Геоскан 401 Геофизика», где в качестве носителя использовался БПЛА (масштаб 1:10000).

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, геологоразведка, геология, аэрофотосъемка, аэромагнитная съемка.

Теория

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последнее десятилетие стали находить широкое применение в различных отраслях производства, а также при выполнении прикладных задач геологии, геодезии, геофизики и др. Вопросы о целесообразности применения данной технологии и ее жизнеспособности уже не обсуждаются, все эксперты пытаются провести экономические прогнозы развития данной технологии. Согласно приводимым оценкам, объем рынка беспилотников в РФ к 2035 г. может составить более 1 млн БПЛА [2].

Одним из главных преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов является экономичность. Это позволяет применять новые подходы и методы к исследованиям при минимальных затратах и получать качественные результаты за более короткий промежуток времени. Например, составление карты участка местности в высоком разрешении с помощью БПЛА занимает меньше одного рабочего дня. Камеры на современных летательных аппаратах дополняются малогабаритными и высококачественными датчиками [3]. Кроме аэроснимков, полученных с БПЛА информация может использоваться для построения точных топографических карт и подготовки ГИС-информации по отдаленным участкам. На основе сочетания аэроснимков и данных по разведке местности современный специалист получает подробную репрезентацию любого объекта в трехмерном масштабе. Такие возможности на ранних стадиях способствуют существенному повышению качества планирования проекта, снижению расходов на разведку, ускоряют процесс выполнения полевых работ [2].

Аэрофотосъемка, осуществляемая с использованием беспилотных летательных аппаратов, представляет собой современную технологическую разработку в геодезии, заменяя применение спутникового позиционирования в режимах RTK, тахеометрии, воздушного лазерного сканирования и пилотируемой аэрофотосъемки вследствие их неконкурентоспособности по таким основополагающим критериям, как и продолжительность работ. Современный потенциал применения БПЛА в горном деле крайне велик, поскольку беспилотные комплексы дают возможность эффективно и экономично решать многие вопросы надёжности и безопасности.

Применение БПЛА в геологоразведочной отрасли

Обеспечение геологоразведочной отрасли беспилотными летательными аппаратами позволяет решить следующие классы задач:

- миссии по геологоразведке, включая картографию местности и 3D-моделирование окружающего пространства;
- выполнение миссий по контролю процесса добычи, строительства объектов и их охраны;
- управление хвостовыми отвалами;
- исследование подземных шахт и их инфраструктуры;
- оптимизация подъездных дорог и инфраструктуры в целом.

Миссии по геологоразведке

Это направление применения воздушных БПЛА сформировалось одним из первых и в настоящий момент считается базовым для их применения в геологической отрасли. Применение M300 RTK или других моделей DJI с соответствующим оборудованием на борту и ПО для обработки позволяет выполнять несколько достаточно сложных, но чрезвычайно важных миссий: создание карт местности, ортофотопланов, трёхмерных моделей рельефа и объектов на нём, а также обнаружение различных аномалий геологического характера.

Миссии по контролю добычи и охране объектов

Второе направление использования БПЛА, которое также становится одним из базовых, сводится к выполнению полётов для круглосуточного мониторинга работы объекта (или целого комплекса объектов), работы сотрудников, а также миссий по охране различных объектов. При этом такие миссии могут выполняться и днём, и ночью.

Исследование состояния карьеров, подземных шахт и их инфраструктуры

Наиболее простым является применение БПЛА в случаях, когда добыча полезных ископаемых осуществляется открытым способом. Мониторинг состояния карьеров и подъездных путей к ним выполнять сравнительно несложно. Для БПЛА в таких случаях есть больше пространства для полётов, и съёмка с воздуха осуществляется сравнительно легко.

Оптимизация подъездных дорог и инфраструктуры в целом

Сеть подъездных дорог оказывает значительное влияние на эффективность горнодобывающей деятельности. Для обеспечения безопасного и равномерного транзита необходимо постоянно следить за дорожными условиями. БПЛА позволяют облегчить этот процесс за счёт сбора большого количества аэрофотоснимков, точнее охватывающих более широкие области, которые затем могут использоваться инженерами для планирования, проектирования, строительства и технического обслуживания [2].

Аэромагнитная съёмка с БПЛА

Использование БПЛА в сочетании с геофизическим оборудованием помогает соединить преимущества наземных методов геологоразведки с дистанционными. Применение технологии аэромагнитной съёмки с БПЛА позволяет в значительной степени снизить трудоемкость и затраты на проведение работ по разведке полезных ископаемых без ущерба для качества измерения магнитных полей на исследуемых участках [1].

Анализ использования БПЛА для проведения магнитометрической съёмки позволил выделить ряд преимуществ:

- возможность ежедневно выполнять 12-16 вылетов и обследовать около 200 погонных километров территории, что обеспечивается простотой замены аккумуляторных батарей;
- высокая точность измерений вне зависимости от особенностей рельефа;
- наглядный результат, обеспечиваемый возможностью построения трёхмерных полей, значительно увеличивает степень эффективности работ;
- при построении маршрута учитываются особенности ландшафта и растительности, что позволяет значительно снизить или исключить вероятность повреждений оборудования;

- съемка выполняется более плавно и на некотором удалении от земной поверхности, что в разы уменьшает степень влияния сильномагнитных приповерхностных объектов на точность полученных данных;

- применение БПЛА позволяет магнитометру перемещаться на одинаковом расстоянии от поверхности вне зависимости от рельефа (огибание рельефа). Скорость полета БПЛА наиболее подходит для получения требуемой частоты отсчетов [4].

В качестве примера рассмотрим результаты полученные при проведении геофизической съемки с помощью квантового магнитометра ММС-214 с использованием авиации (масштаб 1:25000) и комплекса Геоскан 401 Геофизика, где в качестве носителя использовался БПЛА (масштаб 1:10000) (рисунок 1).

На рисунке видно, что, применяя БПЛА-комплексы, в результате получаем более детальную и четкую карту магнитного поля, чем при использовании большой авиации. Таких результатов возможно добиться, снизив скорость съемки и уменьшив высоту полета.

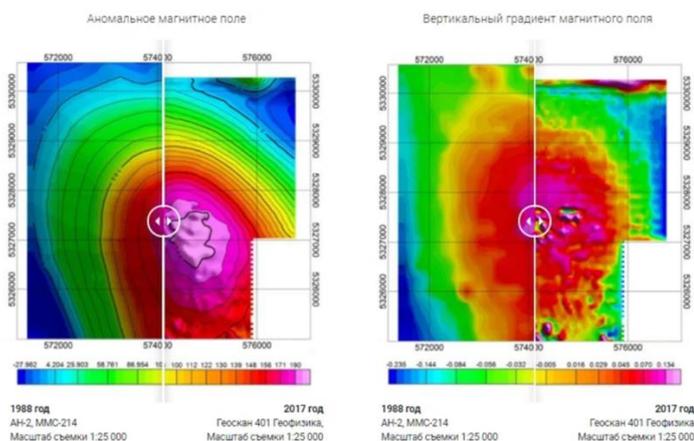


Рисунок 1. Сравнение результатов геофизической съемки

Выводы

Применение беспилотных летательных аппаратов дает возможность проведения высокоточного и оперативного картографирования и мониторинга территорий и решения множества геодезических задач. Одним из главных преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов является экономичность. Это позволяет применять новые подходы и методы к исследованиям при минимальных затратах и получать качественные результаты за более короткий промежуток времени. На основе сочетания аэроснимков и данных по разведке местности и данных по разведке местности современный специалист может получить подробную репрезентацию любого объекта в трехмерном масштабе.

Библиография

1. Дамрин А.Г. Создание 3D моделей местности и ортофотопланов // В сборнике: Advances in Science and Technology. Сборник статей LI международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 168-169.
2. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3D-крупномасштабных карт // Славянский форум. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
3. Силина А.Р., Дамрин А.Г. Создание 3D-моделей местности и ортофотопланов по результатам аэрофотосъемки // В сборнике: Инженерные изыскания в строительстве. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; ООО «Геомаркетинг»;

Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей; «Союз изыскателей». Москва, 2023. С. 127-130.

4. Федорова А.Р., Дамрин А.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов при проведении изысканий для строительства// В сборнике: Инженерные изыскания в строительстве. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»; ООО «Геомаркетинг»; Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» - Общероссийское отраслевое объединение работодателей; «Союз изыскателей». Москва, 2023. С. 122-126.

Анализ и типизация инженерно-геологических условий исторических природно-технических систем монастырей ближнего оборонительного контура Москвы

Филюшин Д.А.* (МГРИ, sninichi.russia@mail.ru),

Буфеев Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru)

Аннотация

Настоящая работа посвящена изучению инженерно-геологических условий исторических природно-технических систем ближнего оборонительного контура Москвы с целью дальнейшей их типизации.

Ключевые слова

Историческая природно-техническая система, ближний оборонительный контур Москвы, инженерно-геологические условия памятников архитектуры, уплотнительные сваи, деревянные сваи.

Теория

Город Москва был основан в 1147 году и уже много веков является главным центром Российского государства. Такой большой и стратегически-значимый город как Москва должен быть тщательно защищен от вторжения. В связи с этим в истории столицы выделяются несколько этапов возведения оборонительных рубежей, одним из которых и является ближний оборонительный контур Москвы.

Ближний оборонительный контур Москвы представлял собой сеть монастырей-форпостов построенных в период с XIV до середины XVI в. Толчком для его возведения служил пожар в 1365г., во время которого погорел Кремль и другие крепости Москвы [1]. Помимо постройки новых храмов, были использованы уже существующие. В состав ближнего оборонительного контура Москвы входило приблизительно 19 монастырей. Из них к настоящему моменту сохранилось 10: Андроников (1366г), Симонов (1377г), Высокопетровский (1317г), Рождественский (1386г), Сретенский (1385г), Зачатьевский (1584г), Андреевский (1648г), Донской (1591г), Данилов (1282г), Новоспасский (1490г).

В основу выбора месторасположения форпостов легли особенности рельефа территории. Важным фактором являлась видимость монастырей из Кремля [1]. Современный рельеф определяется геоморфологическими условиями и сформирован определенными процессами, которые определяют тип грунтов основания фундаментов.

Особенности строения памятников русской архитектуры

При комплексном подходе объекты культурного наследия рассматриваются как исторические природно-технические системы. Они состоят из подсистем «памятник» и «геологическая среда». Фундаменты стен памятников русской архитектуры XIV –XVIII веков, в основном, ленточные. Пилоны опирались либо на перекрестные ленты, либо на отдельные подушки. Устройство фундаментов проводилось, как правило, по схеме "фундаментный ров" [4].



Рисунок 1. Схема расположения монастырей на геоморфологическое карте Москвы. 1 – пойма, 2-4 – террасы, 2 – первая надпойменная терраса, 3 – вторая надпойменная терраса, 4 – третья надпойменная терраса, 5 – моренная равнина, 6 – флювиогляциальная равнина, 7 – оползневые склоны, 8 – местоположение монастырей

При строительстве памятников XV – XVIII вв. широко применялись короткие деревянные сваи. Они выполняли уплотнительную функцию, поскольку при погружении свай забивкой вокруг них происходит формирование зоны уплотненного грунта (грунтовой «рубашки»). Диаметры «рубашек» одиночных свай составляли в среднем $3d$ (d – диаметр свай). При устройстве свайных полей зоны уплотнения грунтов достигают больших величин и могут составлять $(7\div 11)d$ и более [2].

Разрушение древесины свай происходит в зоне аэрации, из-за наличия свободного кислорода и оптимального уровня влажности. Разрушение сопровождается формированием открытых полостей-«стаканов», приводящим к ослаблению основания в целом. Начинается разрушение структуры межсвайных грунтов. Наиболее интенсивно это разрушение протекает на контурах свайных полостей и постепенно перемещается вглубь целиков грунтов основания. В конечном счете, это приводит к разуплотнению грунтов основания и снижению показателей их прочностных и деформационных свойств [2].

Спасо-Андроников монастырь

В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах древнеаллювиальной террасы р. Яуза. Уклон поверхности с северо-востока на юго-запад в сторону р. Яуза. Территория проведения застроена, поверхность искусственно измененная - спланированная. Естественный рельеф частично сработан или погребен под толщей техногенных накоплений мощностью до 2,4м. С запада и северо-запада участок работ граничит с бровкой склона к р.Яуза. Грунтами основания преимущественно являются техногенные насыпи и аллювиальные пески. Глубина заложения ленточных фундаментов по данным проходки шурфов и бурения скважин составляет от 1,90 до 4,99м

При проведении полевых работ в основании фундаментов, шурфами были вскрыты остатки от вертикальных деревянных конструкций - свай, представляющие собой сгнившие оголовки с образованием полостей-«стаканов». Сваи сильно деструктивированы и замещены инфлювием. В некоторых местах после свай образовались полости, пустоты. Оголовки входят в тело каменных конструкций фундаментов на 0-8см. Вскрытые сваи относятся к первому, второму и третьему ряду от боковой поверхности фундамента. Остаточный диаметр свай непосредственно под подошвами фундаментов достигает 13 см, расстояние между осями свай составляет 50 см, вскрытая длина свай до 95 см.

Донской монастырь

В геоморфологическом отношении крепостные стены и башни Ансамбля, расположены в пределах третьей надпойменной террасы р. Москвы. Рельеф территории изменен антропогенным воздействием и природными процессами, такие как плоскостной смыв и образование временных поверхностных водотоков, в период интенсивных дождей и снеготаяния.

Основаниями фундаментов служат преимущественно пески, реже супеси и суглинки аллювиального и аллювиально-флювиогляциального генезиса. Глубина заложения фундаментов: от уровня поверхности земли составляет – 1,05 – 2,80 м. Неоднородность глубины заложения фундаментов, обуславливается изменчивостью кровли техногенных накоплений. В процессе проходки шурфов выявлена схема строительства, при которой рядной кладкой из блоков известняка выведены только внешняя и внутренняя верста ленточного фундамента, а внутреннее заполнение представлено бутовой кладками.

В процессе проходки шурфов под подошвой фундаментов повсеместно встречены остатки от вертикальных деревянных конструкций - свай. Сваи вскрыты на всю длину. Длина свай от 0,8 до 1,2м., шаг забивки 0,35м, в тело фундамента оголовки свай заходили от 0,05 до 0,3м. Сваи забиты (о чем свидетельствуют характерные искривления прослоев, в толще песчаных грунтов) в шахматном порядке и полностью сгнившие, «стаканы» заполнены остатками древесного тлена на песчаном заполнителе, с корнями растений и дрсвой кирпича. Остаточный диаметр отпечатков свай, составляет 6-9см. Остаточный диаметр отпечатков оголовков составляет порядка 10-16см. Фрагментарно на контакте остатков свай с грунтом, встречены остатки от древесной коры хвойных пород.

Новоспасский монастырь

В геоморфологическом отношении участок территория монастыря расположена в пределах 3 надпойменной террасы р. Москвы. Основаниями фундаментов служат преимущественно пески, реже суглинки аллювиального (aQIII) и техногенного (tQIV) генезиса.

В нескольких шурфах, вскрытых под стенами, башнями и под братскими корпусами обнаружены остатки деревянных свай (Инфлювий), длиной от 65 до 100см и толщиной от 3 до 10 см, в 20-40 см друг от друга, ряды параллельны друг другу. В настоящее время сваи полностью разрушены, тело свай замещено инфлювием - техногенным супесчаным грунтом, темно-серого до черного цвета, рыхлым, влажным, обогащенный органикой, с включениями мелкого щебня кирпича и известняка и известково-песчаного раствора, остатками древесных волокон.

Симонов монастырь

В геоморфологическом отношении территория монастыря расположена в пределах 3 надпойменной террасы р. Москвы. Рельеф участка относительно ровный, искусственно спланированный, с незначительным уклоном в юго-западном направлении. Основаниями фундаментов служат преимущественно пески аллювиально-флювиогляциального (a,fQIIms) и техногенного (tQIV) генезиса, реже моренные суглинка (gQIIms). Глубина заложения фундаментов от уровня поверхности земли по данным проходки шурфов и бурения скважин изменяется в пределах 0,40-1,95м под разными сооружениями ансамбля.

В основании фундаментов сооружений в шурфах были вскрыты остатки сгнивших вертикальных уплотнительных деревянных свай.

Сваи полностью деструктивированы, полости-стаканы заполнены инфлювием темно-серого цвета, представленным полностью разложившейся древесиной, частицами песка. Остаточная длина свай 0,45 -1,30м. Затес треугольный высотой 8-30см. Остаточный диаметр свай составляет 6-12 см. Шаг забивки свай 26-60 см. Внешний ряд свай отстоит от внешней грани фундамента на 5-50 см.

Выводы

В настоящее время сваи полностью разрушены, тело свай замещено инфлювием - техногенным супесчаным грунтом, темно-серого до черного цвета, рыхлым, влажным, обогащенный органикой, с включениями мелкого щебня кирпича и известняка и известково-песчаного раствора, остатками древесных волокон.

Библиография

1. Аверьянов К. А. О местах основания русских монастырей в XIV – XV веках. Сборник «Поморские чтения по семиотике культуры. Вып. 2. Сакральная география и традиционные этнокультурные ландшафты народов Европейского Севера» - Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. г. Архангельск, том 2, с. 346-352.
2. Дёмкин И.А. Механизм процесса снижения несущей способности грунтов оснований памятников русской архитектуры: специальность 25.00.08 «Инженерная геология мерзлотоведение и грунтоведение»: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук/Дёмкин Игорь Анатольевич; Российский государственный университет им. Серго Орджоникидзе. - Москва, 2001. - 142 с.
3. Москва. Геология и город / Под редакцией В. И. Осипова и О. П. Медведева; РАН, Институт геоэкологии; Мосгоргеотрест. — Москва: Московские учебники и Картолитография, 1997. — 398 с., ил.
4. Пашкин Е. М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры: монография — 4-е изд., доп. — М.: АНО «Традиция», 2022. — 368 с.: ил.

*Оценка современного программного обеспечения в целях оптимизации геодезических работ
Флотский И.А.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, (ivanflotsky.11@gmail.com),
Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, (damrin79@mail.ru)*

Аннотация

В настоящее время геодезические работы являются важным компонентом в различных сферах деятельности: в строительстве и градостроительстве, мониторинге геологических изысканиях и др. Оптимизация процессов геодезических измерений и обработки данных становится необходимостью для повышения эффективности и точности получаемых результатов. В связи с этим оценка современного программного обеспечения (ПО) в геодезических изысканиях играет ключевую роль.

В работе проведён анализ геоинформационных решений для оценки современного программного обеспечения в целях оптимизации геодезических работ и выявления наиболее адаптированных вариантов для обеспечения процессов съёмки, обработки и анализа геодезических данных.

В ходе работы будет проведён обзор различных программных продуктов, их оценка, функциональность и степень соответствия требованиям геодезических задач. Полученные результаты помогут специалистам в области геодезии и картографии выбрать наиболее подходящие и эффективные инструменты для решения своих задач.

Ключевые слова

Программное обеспечение (ПО), модуль, интерфейс, геодезические работы.

Теория

На сегодняшний день геодезические программное обеспечение – это комплекс программ, с помощью которых решаются различные задачи инженерной геодезии. Существуют геодезические программы, объединяющие в себе несколько функций, необходимых для реализации поставленной задачи, а также - узко-ориентированные. Нами был проведён анализ программных комплексов AutoCAD Civil 3D, Nanocad Geonics, комплекс продуктов Кредо.

AutoCAD Civil 3D представляет интегрированное программное обеспечение, позволяющее инженерам и геодезистам выполнять проектирование инфраструктуры и выполнение геодезических задач. Включает в себя инструменты для создания цифровых моделей местности, выполнения расчётов объёмов и создания документации.

Nanocad Geonics представляет собой проектно-геодезическую платформу, которая основана на приложениях компании Autodesk и адаптирована к отечественным технологиям. Она предназначена для автоматизации процессов проектирования, вычислительной обработки полевых измерений топосъёмки, при изысканиях, строительстве, кадастровых и других работах.

Комплекс продуктов Кредо - программное обеспечение, необходимое для решения различных задач топографической съёмки, аэрофотосъёмки, мониторинга и работы с использованием ГНСС оборудования.

Каждая из этих программ имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного программного обеспечения зависит от специфики задачи, предпочтений пользователя и доступных ресурсов.

Весь программный комплекс AutoCAD (рисунок 1) обладает удобным интерфейсом, большим количеством функциональных возможностей. Формат .dwg используется в любой подготовительный период в проектной документации. С его помощью осуществляются связь с таблицами Excel, организация работ с применением слоёв, обмен и хранение файлов,

использование динамических блоков, динамические подсказки и меню быстрых свойств, импорт и публикация DWF-файлов, визуализация и печать 3D моделей, запись последовательности действий пользователями, переформатирование и экспорт в PDF-файл, адаптация под свои индивидуальные особенности, настройка и использование интерфейс-ленты, моделирование поверхностей, интегрирование на основе AutoCAD других специализированных приложений и другие функции.

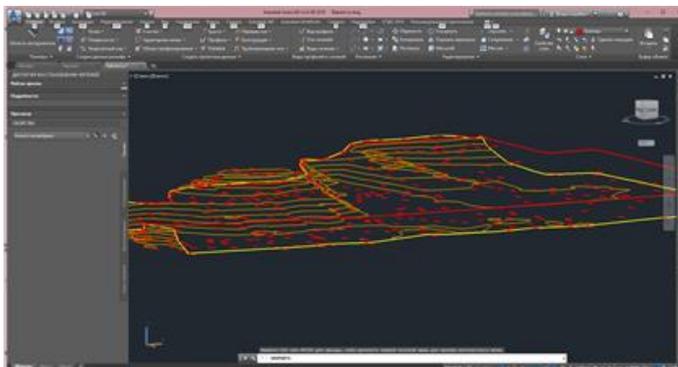


Рисунок 1. Интерфейс программы AutoCad Civil 3D во время обработки данных мониторинга дна котлована

Программный NanoCad Geonisc (рисунок 2) является отечественным аналогом AutoCad Civil 3D. Однако, в 2010г. компания начинает собственный путь развития отечественного производства.

В список возможностей GeoniCS входят проектирование геодезических сетей, уравнивание, определение ошибок высотных координат, формирование каталогов координат, обработка полевых измерений с электронного оборудования, обработка тахеометрических съёмок и формирование топопланов, экспорт съёмочных точек и соответственно импорт расчётных данных, расчёты данных по выносу проектов.

Построительный и вычислительный процессы автоматизируют и другие комплексы продукта. Комплекс GeoniCS-топоплан-генплан-трассы-сети выполняет весь процесс автоматизации проектных решений для строительства различных объектов, трасс, сетей. На новый уровень эффективности применения в геодезии и строительстве ПО выводят обширные возможности в работе с пространственными данными.

В последние годы именно программные комплексы с унифицированными программными блоками широко используются среди геодезических работников.

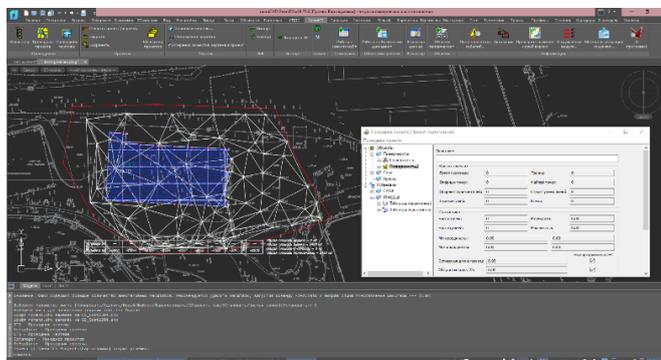


Рисунок 2. Интерфейс программы NanoCad Geonics при построении картограммы земляных работ

Концепция программный комплекс «Кредо» состоит в возможности целостного обеспечения и постоянной обработки всех технологических процессов изысканий, главных работ, различных вариантов проектирования, кадастровых и инженерных задач от одной базы данных. Модуль программы CredoDat (рисунок 3) создан специально для автоматизации процессов обработки и вычислительных работ теодолитных и ходов полигонометрии, их уравнивании, оформлении тахеометрических съёмок. Модуль Credo-нивелир и соответственно Credo-расчет деформаций применяются для высотных наблюдений за осадочными деформациями оснований сооружений, определений высотных отметок и обработке нивелирных ходов, также при реконструкции высотных сетей.

При выполнении многочисленных инженерных изысканий с целью создания ЦММ, производства топографических планов, линейных изысканий используется Credo-топоплан или Credo-линейные изыскания, Credo-транскоп, Credo-GNSS, Credo-dat professional применяются для формирования государственных опорных, съёмочных и разбивочных сетей для конвертации геоцентрических пространственных, геодезических и прямоугольных координат.

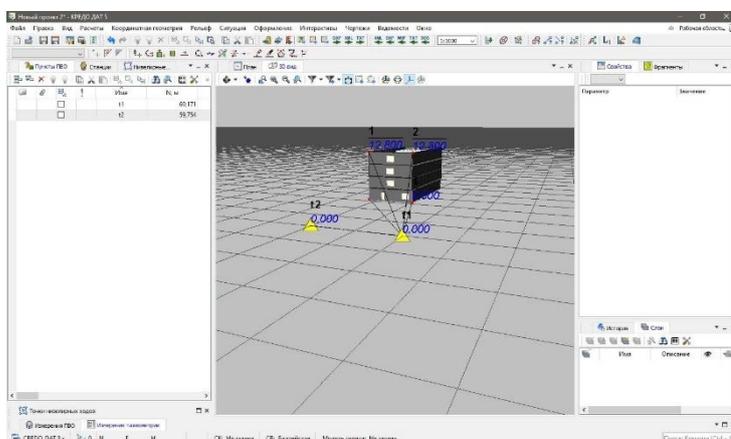


Рисунок 3. Интерфейс программы КредоДат5 при обработке результатов тахеометрической съёмки

Исходя из вышеизложенного нами проведён анализ современного программного обеспечения (таблица 1) и выделен ряд программных продуктов, необходимых для решения поставленных инженерно-геодезических задач в современных реалиях.

Таблица 1

Оценка современного программного обеспечения

Программное обеспечение	Возможность модулей программного обеспечения						
	Работа с графической документацией		Обработка результатов измерений			Стоимость (тыс.руб.)	
	Настройка шаблонов	Соответствие стандартов	Теодолитная съёмка	Тахеометрическая съёмка	Работы с использованием	Постоянная лицензия	Временная подписка (1 год)

						Локальная	Сетевая	Локальная	Сетевая
AutoCad Civil 3D	+	±	-	-	-	Нет продаж		Нет продаж	
NanoCad Geonics	+	+	-	+	+	175,2	210,3	54,3	65,2
Комплекс Credo	-	+	+	+	+	до 210,0		до 30,0	

Выводы

Таким образом, NanoCad Geonics и комплекс Credo являются обязательными к использованию в решении производственных геодезических задач, что позволяет не только выполнять камеральную обработку результатов съёмки, но и приводить графическую и текстовую документацию (ведомости) в требуемый стандартами вид.

Комплексы NanoCad и Credo своевременно обновляются и постоянно поддерживают свои библиотеки в соответствии с нормативными документами.

Стоимость программного обеспечения в условиях импортозамещения является оптимальной в независимости от выбранного модуля и позволяет повысить эффективность выполнения поставленных задач в долговременной перспективе.

Библиография

1. [Гура Д.А. Современное программное обеспечение для обработки геодезических измерений. - Кубань: 2018г. - С. 214-217.]
2. [Силина А.Р., Дамрин А.Г. Создание 3D-моделей местности и ортофотопланов по результатам аэрофотосъёмки // В сборнике: Инженерные изыскания в строительстве. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. Москва, 2023. С. 127-130.]
3. [Силина А.Р., Федорова А.Р., Дамрин А.Г. 3D-моделирование при помощи аэрофотосъёмки // В сборнике: Научный потенциал молодежи и технический прогресс. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 56-57.]
4. [Федорова А.Р., Дамрин А.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов при проведении изысканий для строительства// В сборнике: Инженерные изыскания в строительстве. материалы пятой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов. Москва, 2023. С. 122-126.]

*Трансформация геокриологических условий в южной лесотундре Западной Сибири под
влиянием изменения климата в 1975-2023 годах*

Чуракаева В.О. (МГРИ, vicachurakaeva25112000@mail.ru),*

Халимьянов А.З. (ТИУ, alfa2066@yandex.ru),

Гравис А.Г. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, МГРИ, ag.gravis@yandex.ru)

Аннотация

Длительный мониторинг геокриологических условий в южной лесотундре Западной Сибири на стационаре ИКЗ ТюмНЦ СО РАН выявил значительное увеличение глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород и резкое повышение их температуры, обусловленное повышением температуры воздуха почти на 0,1 °С в год и увеличением количества выпадающих атмосферных осадков на 70 мм в год. Выявлены наиболее устойчивые к изменению климата ландшафты – торфяники и дренированные песчаные приречные участки.

Ключевые слова

Многолетнемерзлые породы, изменение климата, температура многолетнемерзлых пород, глубина протаивания пород, понижение кровли многолетнемерзлых пород.

Источники финансирования

Работа выполнена институтом криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012), при финансовой и логистической поддержке Центра освоения Арктики.

Теория

В южной лесотундре Западной Сибири на Уренгойском геокриологическом стационаре Всесоюзного института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), а впоследствии института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН с 1975 года ведутся наблюдения за изменением глубины сезонного протаивания пород и температуры многолетнемерзлых пород (ММП). Эти наблюдения задумывались как фоновые для сопоставления с условиями действующих месторождений углеводородов, расположенных в сходных геокриологических условиях. Получаемые материалы организованного геокриологического мониторинга создали хорошую основу для оценки масштабов перестройки естественных геокриологических условий как из-за природных изменений, так и в результате техногенеза [1]. Появилась возможность обоснованно разделить ландшафты по их реакции на изменения климата, выявить наиболее и наименее устойчивые, что должно позволить рационально компоновать инфраструктуру и своевременно предусматривать рациональные меры по сбережению окружающей среды и защите объектов на территории месторождений, населенных пунктов, транспортных коридоров.

Природные условия

Стационар «Уренгойский» расположен в южной лесотундре на Пур-Надымском междуречье, в пределах центральной части IV озерно-аллювиальной равнины, в приречном типе местности [5]. Рельеф рассматриваемой территории плоский и пологоувалистый, с ложбинами стока глубиной от 1,5 до 5 м и скоплениями миграционных бугров пучения высотой до 4,5 - 6 м, которые встречаются на участках близкого (2 м) от поверхности залегания суглинистых пород. Абсолютные отметки поверхности изменяются в интервале 45-60 м. Угнетенные березово-лиственничные леса и редколесья развиты на 15-20 % территории, значительную площадь занимают болота [3]. Поверхностные отложения имеют преимущественно песчаный состав. Мощность перекрывающего пески органогенного слоя изменяется от 0,3 до 2 м. ММП распространены прерывисто по площади. Под лесами кровля их залегала в 1970-е годы (период

проведения пионерной геокриологической съемки 1:100 000 масштаба) на глубинах 8-10 м. Мерзлые пески имеют слабую и среднюю льдистость и массивную криогенную текстуру, сильнольдистые суглинки имеют слоистую текстуру. Температура ММП составляла, по данным съемки -1...-4 °С. Отмечалось, что сезонное пучение проявляется на торфяниках, локально развито криогенное растрескивание с образованием повторно-жильных льдов (ПЖЛ) мощностью 2-2,5 м и термокарст по ПЖЛ [2].

Методика исследований

В работе использованы данные по 12 температурным скважинам, оборудованным в 1975 г. в пределах стационара. Они расположены в 8 основных ландшафтах изучаемой территории. Глубина скважин составляет 9 - 10 м. Первоначально наблюдения выполнялись один раз в год (в конце теплого периода) косой так называемых "заленивленных" термометров с интервалом по глубине 0,5-1 м. С 1997 г. по 2019 г. измерительное оборудование постепенно было заменено на логгеры двух конструкций – НОВО (датчики в косе расположены на глубинах 1, 3, 5, 10 м) и LPC (замеры осуществляются с интервалом по глубине 1 м), интервал между замерами по времени составляет 6 часов. В 3 скважинах это оборудование действует круглогодично. Аппаратурная точность современных замеров составляет 0,01 °С. В 2008 и 2020 гг. из строя вышли 2 скважины. В 1990-е годы из-за трудностей финансирования были перерывы в измерениях. Глубина протаивания пород измеряется в конце теплого периода, при необходимости пересчитывается на максимум [4], для чего используются данные о температуре воздуха с метеостанции Новый Уренгой. Глубина протаивания пород до 2022 г. определялась у 121 марки наблюдательной площадки размером 100×100 м, расположенной на торфянике. В 2023 г. дополнительно был организован профиль длиной более 900 м с 52 наблюдательными точками.

Тренды изменения климатических параметров анализировались по данным метеостанции Новый Уренгой аэропорт за период с 1981 по 2023 гг., что позволило проследить характер изменения климатических параметров за период работы метеостанции и рассчитать климатическую норму за период 1991-2020 гг. Климатическая норма была рассчитана для следующих показателей: среднегодовые температуры воздуха, сумма выпадающих атмосферных осадков.

Результаты анализа климатических данных.

Норма среднегодовой температуры воздуха составляет -6,3°С. Максимальная отклонение от нормы зафиксировано в 2020 г., когда среднегодовая температура воздуха составила -2, 3°С. В течение последних 2 лет температура воздуха устойчиво превышает норму почти в 1,5 раза. За период климатической нормы тренд повышения среднегодовой температуры составил 0,1°С в год. Отмечено повышение как в зимний, так и в летний периоды. В среднем на 20 дней увеличилась длительность периода с положительными температурами. С 2020 г. температура воздуха в мае стала устойчиво положительной. В 2021 г. впервые за все время наблюдений отмечены положительные температуры воздуха в октябре. Сумма выпадающих за год атмосферных осадков увеличилась с 1981 г. на 120 мм, главным образом, за счет осадков холодного периода (рисунок 1). Информация об увеличении высоты снежного покрова в естественных условиях была подтверждена снегомерной съемкой непосредственно на стационаре. Снеговой покров оказывает дополнительное отопляющее влияние, с летними атмосферными осадками в оттаявший грунт распространяется дополнительное тепло. Таким образом, изменения всех проанализированных климатических параметров способствовало увеличению глубины протаивания пород и негативным изменениям состояния ММП.

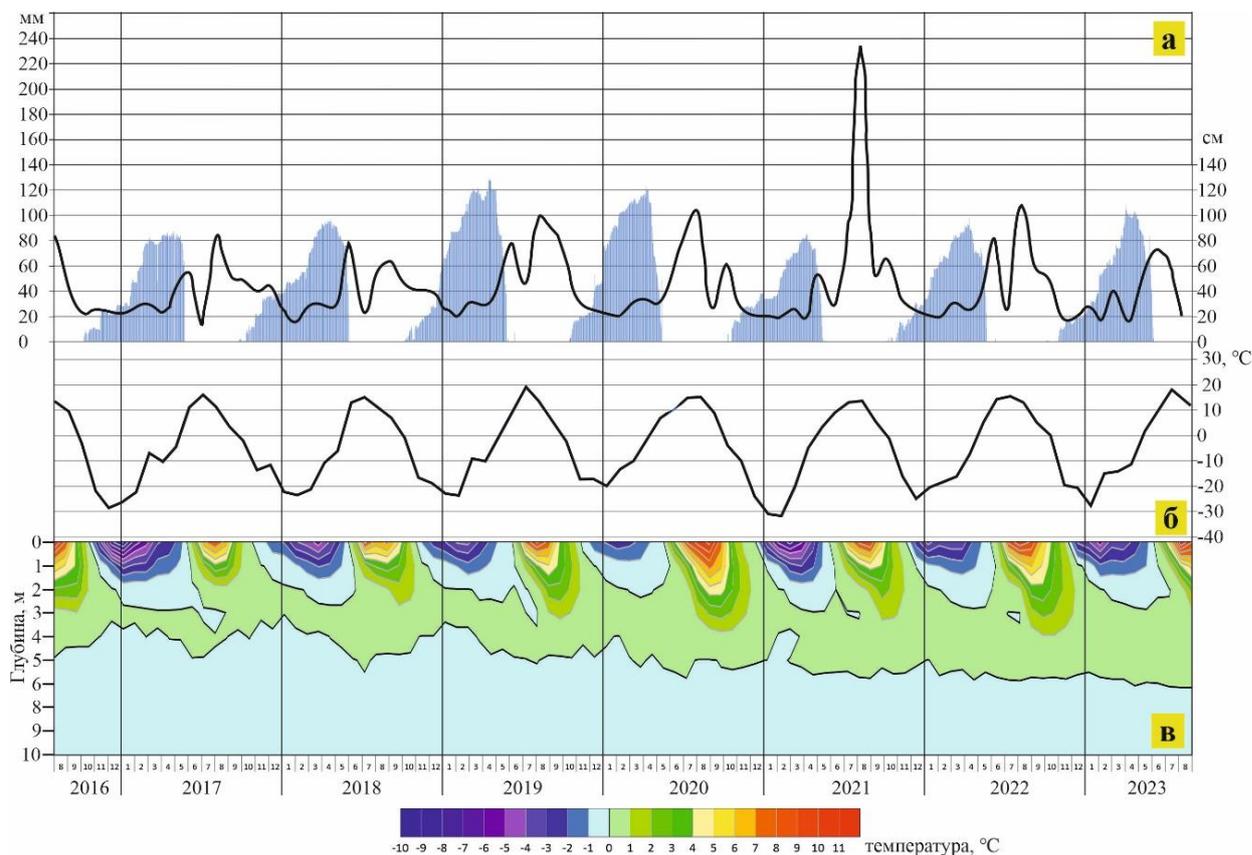


Рисунок 1. Климатические параметры по данным метеостанции Новый Уренгой: а столбчатая диаграмма – высота снежного покрова (см), черная линия - сумма выпадающих атмосферных осадков за месяц (мм), б – температура воздуха, и в - температура ММП в слое годовых теплооборотов в скважине 05-01

Результаты мониторинга температуры ММП

Наиболее сильное повышение температуры ММП (на глубине годовых теплооборотов) от 1,3 до 3,1°C произошли в «холодных» ландшафтах, на которых в 1975 г температура ММП была ниже -2,8°C: на торфяниках, вершине бугра пучения, в краевой части болота, в заболоченной полосе стока. Минимальные изменения температуры (менее 1 °C) отмечаются в «теплых» ландшафтах, в которых в 1975 г. температура пород не превышала минус 1 °C: основная поверхность равнины под лесом, на пологом склоне в долине ручья с густым кустарником. Таким образом, разница в температуре ММП между всеми криогенными ландшафтами постепенно выравнивается. Сезонное промерзание, по-прежнему, достигает кровли ММП (мерзлота сливающегося типа) всего в 2 ландшафтах: на торфяниках с мощным (более 2 м) органогенным слоем и в неглубокой заболоченной ложбине стока со значительным моховым покровом. Во всех остальных ландшафтах кровля ММП продолжает углубляться, мощность слоя талых пород между кровлей ММП и подошвой слоя промерзания увеличивается (рисунок 1). Увеличение глубины протаивания пород и погружение кровли ММП сказывается на обводненности болот: участков с открытой водой становится меньше, в результате чего болота не отепляют ММП, расположенные ниже, а охлаждают их при испарении, поэтому постепенно функция болот сменяется с отепляющей на охлаждающую.

Выводы

В южной лесотундре Западной Сибири температура воздуха стремительно поднимается, увеличивается высота снежного покрова. В условиях меняющегося климата в приречном типе местности кровля ММП быстро опускается – в большинстве ландшафтов она в 2023 г. была расположена уже на глубинах 3-8 м. Наиболее устойчивыми в этом отношении являются заболоченные ложбины стока и мощные торфяники. Температура ММП на подошве слоя годовых теплооборотов составляет в настоящее время $-0,04...-0,7^{\circ}\text{C}$. Начинается процесс термокарста на ряде торфяников. Тем не менее, торфяники можно считать наиболее устойчивыми к изменению климата ландшафтами. Устойчивы также приречные ландшафты с песчаной литогенной основой, где оттаивание мерзлоты не приводит к осадкам и деформациям поверхности.

Библиография

1. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С. и др./ Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 2, с. 15–30.
2. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / отв. Редактор В.П. Мельников; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 207 с.
3. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. – Новосибирск: Наука, 1983. – 165 с.
4. Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / Под редакцией Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 688 с.
5. Украинцева Н.Г., Дроздов Д.С., Гравис А.Г. и др. / Ландшафтная индикация локальной изменчивости свойств многолетнемерзлых пород (Уренгойское месторождение, Западная Сибирь)// Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 37–40.

Применение BIM-технологии в техносферной безопасности в строительстве

Шишкин Н.О. * (ГФ БГТУ имени В. Г. Шухова, nik_shishkin_0303@mail.ru),

Зорина О.А. (ГФ БГТУ имени В. Г. Шухова, olya_zorina_78@mail.ru),

Масягина Н.И. (ГФ БГТУ имени В. Г. Шухова, natali_masyagina@mail.ru)

Аннотация

Введением нашей работы является описание BIM-технологии на данный момент самым новым и инновационным инструментом для проектирования и точного расчета, который способен сокращать сроки производства и анализа без потери точности. Сейчас на данный момент BIM-технологии уже успешно работают в следующих целях:

- разработка качественной проектной документации;
- принятие эффективных проектных решений;
- проектирование строительных планов и смет;
- заказ оборудования, материалов;
- управление процессом строительства;
- эксплуатация здания в течение всего жизненного цикла;
- управление недвижимостью как объектом, приносящим прибыль;
- снос и утилизация строительных конструкций;
- реконструкция, капитальный ремонт и т. д.



Рисунок 1. Этап жизненного цикла строительства в наше время

Наша научная разработка планирует добавить новую цель, и она направлена на расчет рисков и опасных этапов в строительном процессе.

На этом этапе научной работы мы описываем возможные ошибки на строительной площадке и разбираем, как программа будет их находить. Технология прогнозирования будет пользоваться несколькими базами техносферной безопасности, просчитывать и указывать опасные участки в период строительства, а также следовать трем главным задачам. Основные задачи техносферной безопасности представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Основные задачи техносферной безопасности

Мы также определили сильные и слабые стороны BIM-технологии в техносферной безопасности.

Таблица 1

Плюсы и минусы BIM-технологии в техносферной безопасности

Прогнозирование рисков	Определение опасных зон в строительстве	Прямое устранение опасных ситуаций	Расчет рисков с участием человеческого фактора	Возможность выявлять опасные ситуации в реальном времени	Самостоятельная работа без участия человека
+	+	-	+	+	-

Наша разработка не рассчитывает заменить людей или ухудшить их работу, а совершенно наоборот предоставить им инструмент, с которым они смогут её выполнять более качественно, избегая при этом опасные ситуации.

Ключевые слова

BIM-технологии, искусственный интеллект, риск.

Источники финансирования

В настоящее время существует очень много компаний разрабатывающие BIM-технологии, но не многие в своих программах используют ИИ. Поэтому из отечественных разработчиков самым оптимальным выбором является Nanosad при поддержке Яндекс. Эта программа станет революционной разработкой и большим скачком, как для BIM-технологии, так и для освоения ИИ. Благодаря этому она станет востребованной для многих строительных компаний, а при последующих её модернизациях, спрос на нее появиться и в других сферах производства, что в свою очередь значительно повысит прибыль. График планируемой прибыли представлен на рисунке 3.

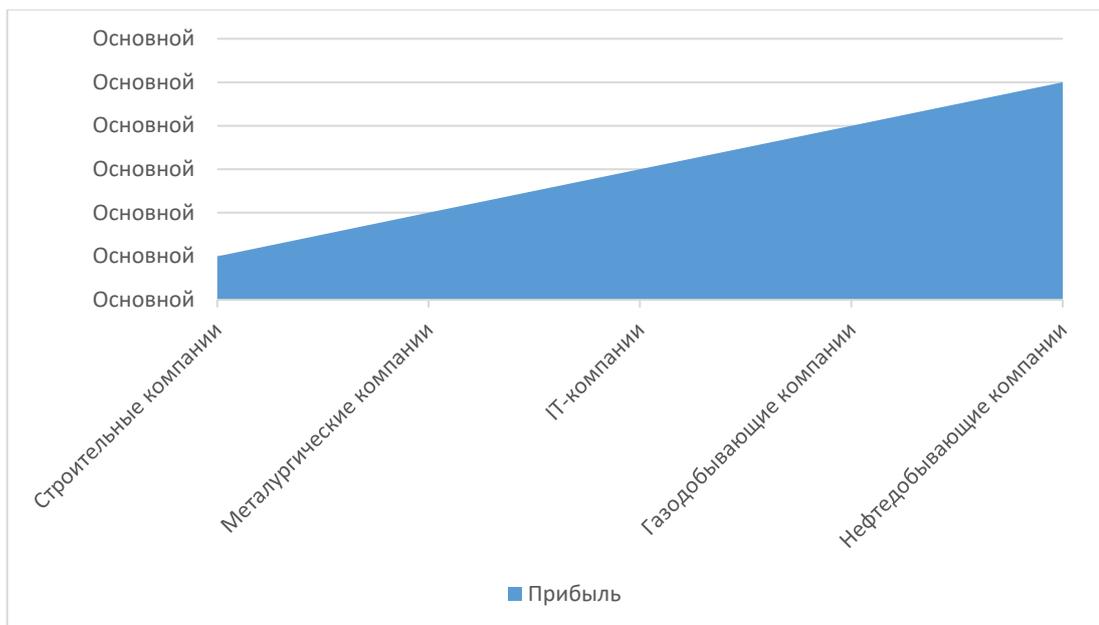


Рисунок 3. График планируемая прибыль при дальнейшей модернизации программы

Теория

Для прогнозирования рисков при процессе производства будет создаваться симуляция в ускоренном режиме, которая сможет охватить все этапы возведения здания и с помощью ИИ находить и рассчитывать их вероятность. Программа будет также указывать область опасности и процентное отображение их возможного появления. Данная технология в реальном способна считывать движения и окружающую среду с помощью видеокамер или дрона. При возникновении опасной ситуации программа сможет подать звуковой сигнал или сообщить соответствующим органам.

Благодаря её универсальности и дальнейшей модернизации она сможет охватить все сферы производства увеличив техносферную безопасность не только в строительстве. Для модернизации программы будет требоваться минимальное время и усилия, так как основа уже создана, и для её улучшения нужны будут только новые базы техносферной безопасности.

Выводы

Таким образом, результат наблюдения за процессом строительной работы с помощью BIM-технологии с поддержкой ИИ отображает фактическую ситуацию на исследуемом объекте, дает возможность увидеть вероятности по каждому из опасных участках производства, и позволяет рассчитать анализ рисков ослабляющих позиции.

Библиография

1. Голдобина Л.А. Моделирование пространственных конструкций в Autodesk Revit // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Под общей редакцией А.А. Семенова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 120-127. – DOI:<https://doi.org/10.23968/BIMAC.2021.015>.
2. Олейник П., Юргайтис А., Воронина Г., Макаренко А. Способы формирования и оптимизации календарных планов строительных компаний, MATEC Web of Conferences 251, 05037 (2018), DOI:<https://doi.org/10.1051/matecconf/201825105037> IPICSE-2018.

3. Пученков И.С., Евтушенко С.И. Создание Информационной модели здания в среде общих данных // Строительство и архитектура. - 2021. - Т. 9, Вып. 1 (30). - С. 46-50. DOI:<https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-1-46-50>

4. Джульета Мартинес, Райат Хоссейн, Хавьер Ромеро, Джеймс Дж. Литтл; Материалы Международной конференции IEEE по компьютерному зрению (ICCV), 2017, стр. 2640-2649. Простая, но эффективная базовая линия для оценки позы человека в 3D, DOI:https://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017/papers/Martinez_A_Simple_yet_ICCV_2017_paper.pdf

*Обновление базы данных по Надымскому геокриологическому стационару
Щербакова А.А. * (МГРИ, anutkusik@yandex.ru),
Пономарева О.Е. (МГРИ, ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, o-ponomareva@yandex.ru)*

Аннотация

Публикация является продолжением научной работы автора «Создание и визуализация базы данных по результатам длительного мониторинга Надымского геокриологического стационара». В предыдущих работах описывались данные, собранные ИКЗ ТюмНЦ СО РАН и ВСЕГИНГЕО, а также методика и требования для составления базы геокриологического мониторинга. В настоящее время появилась возможность расширить базу данных (БД) за счёт архивов организаций «НИПИинжнефтегазстрой», «Эко-газ», «кооператив Базис». База является действующей, поэтому её пополнение актуально.

Ключевые слова

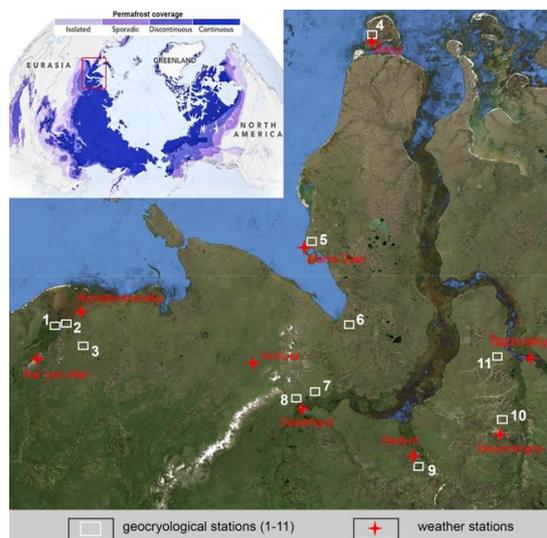
Геокриологические условия, г. Надым, база данных, фоновый геокриологический мониторинг.

Источники финансирования

Работа выполнена институтом криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2021-0012).

Теория

В СССР большое внимание уделялось геокриологическому мониторингу Западной Сибири в связи с освоением нефтегазовых месторождений и их дальнейшей эксплуатацией [1,3-4]. Исследования геокриологических ландшафтов этого региона начались в 1950х годах [2]. Некоторые участки геокриологического мониторинга сохранились до сих пор. Эти участки можно увидеть на рисунке 1.



Объекты мониторинга:

- Кашин (1),*
- Болванский (2),*
- Шаткина (3),*
- Белый (4),*
- Марре-Сале (5),*
- Эркута (6),*
- Октябрьский (7),*
- Лабитнанги (8),*
- Надымский (9),*
- Уренгой-Южный (10),*
- и Уренгой-Северный(11)*

Рисунок 1. Схема расположения объектов мониторинга и опорных метеорологических станций Росгидромета по данным Малковой Г. и др [7]

Фоновый геокриологический мониторинг представляет собой систему режимных наблюдений за изменением геокриологических условий. Самыми важными показателями

являются температурный режим грунтов, мощность деятельного слоя и активность экзогенных геологических процессов. Целью геокриологического мониторинга является сбор информации для рационального управления геокриологической обстановкой.

По заданию Центра изучения Арктики наблюдательная сеть Надымского стационара постоянно расширяется. Это обусловлено озабоченностью правительства ЯНАО разрушением существующей инфраструктуры округа, из-за потепления климата и деградации многолетнемерзлых пород (ММП) с поверхности. Особый интерес представляют данные о геокриологических условиях в черте города Надым.

Изменения климата в рассматриваемом районе впервые было отмечено в 80-90е г. XX века. В XXI веке изменение климата стало происходить катастрофически быстро. Тренд повышения среднегодовой температуры воздуха составлял в 1961-1990гг. 0,04 °С в год, сейчас 0,08 °С в год. Отмечается увеличение высоты снежного покрова. Изменяются характеристики напочвенного покрова.

Данная работа выполняется в рамках изучения территории Надымского геокриологического стационара.

Стационар расположен на III озёрно-аллювиальной равнине, в северной тайге. На разрезе, показанном на рисунке 2, видно, что породы, в основном, озёрно-аллювиальные, представлены песками, супесями и суглинками, которые перекрыты органогенными породами.

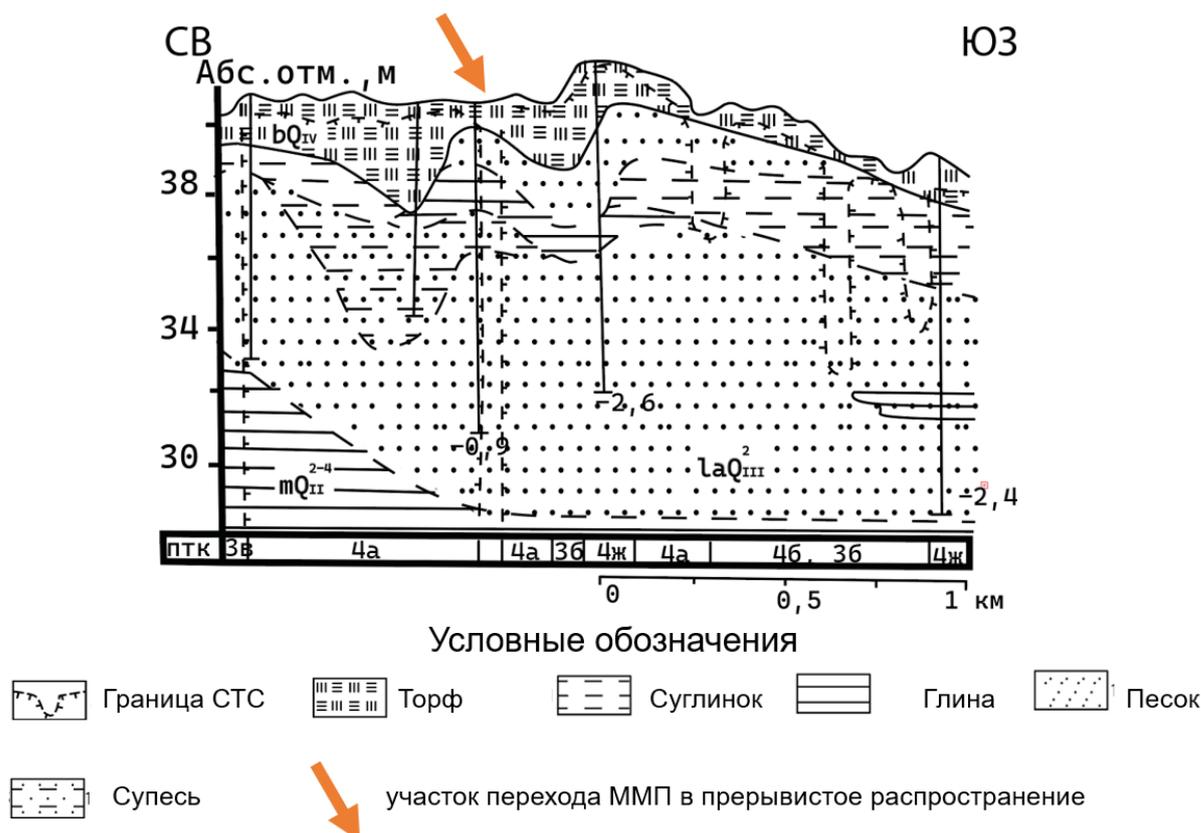


Рисунок 2. Инженерно-геологический разрез Надымского геокриологического стационара [3]

Новые данные представляют собой характеристики грунтов под сооружениями г. Надыма в естественных условиях, так как изыскания проводились перед строительством. Они содержат информацию о геологии, ландшафте, абсолютных отметках поверхности, нормативной глубине сезонного протаивания, границе годовых колебаний температур и среднегодовой температуре грунтов. Таким образом к БД добавятся данные по пойме, I и II террасам реки Надым.

На пойме и первой террасе выделяются три типа участков:

1. с ММП и сезонным оттаиванием;
2. переходные;
3. с тальми грунтами и сезонным промерзанием.

А на второй террасе развиты исключено талые грунты.

Для обновления БД все уникальные данные вносятся в таблицу. По местоположению присваиваются координаты, и эта таблица подгружается в базу данных, в блок «well_skvazhina» [5-6]. Так как шапки у таблиц должны быть одинаковыми, в БД добавляются поля для абсолютных отметок рельефа, нормативной глубины промерзания, глубины слоя годовых колебаний и среднегодовой температуры грунтов. В случае, если какое-то значение соответствует интервалу, для грамотного анализа этот интервал нужно разделить. Для этого есть 2 способа:

1. столбец необходимо разделить на 2 значения (начальное и конечное), тогда во всей базе данных у скважин необходимо будет записывать значения в рамках интервалов. Если значение одно, то его необходимо будет дублировать.

2. присвоить участку разные координаты, соответствующие ландшафтной и геологической информации, имеющийся в изучаемых отчётах. Таким образом получится 2 точки с разными температурами. Этот способ дольше, так как ориентирован на более детальное изучение имеющейся информации, но приоритетнее, так как у одной точки в один момент времени должно быть одно значение. Так анализ будет корректнее.

Выводы

В результате исследования рассмотрено 127 отчётов и заключений. Из них выявлены 54 участка, с новыми данными. Среди них 5 участков с отрицательными температурами в естественных условиях и 49 с положительными температурами, 8 из них переходного типа. Таким образом, после обновления базы данных, можно будет сделать вывод о том, каким было состояние криолитозоны Надымской промышленной зоны в естественных условиях.

Благодарности

Выражаю благодарность Институту криосферы земли Тюменского научного центра Российской Академии Наук за предоставленные материалы. А также кафедре инженерной геологии МГРИ за всестороннюю поддержку исследования.

Библиография

1. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С. и др./ Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 2, с. 15–30.
2. Вечная мерзлота в Западной Сибири / А. И. Попов ; Акад. наук СССР. Ин-т мерзлотоведения им. В. А. Обручева. - [Москва] : Акад. наук СССР, 1953. - 229 с.
3. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / [Е. С. Мельников, Л. Н. Тагунова, Н. А. Лазарева и др.]; Отв. ред. Е. С. Мельников. - Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1983. - 165 с.
4. Москаленко Н.Г., Бляхарчук Т.А., Пономарева О.Е., Устинова Е.В., Матышак Г.В., Емельянова Л.Г., Сорокина Н.В., Гончарова О.Ю., Розанова М.С., Орехов П.Т., Казанцева Л.А., Никитин А.Ю., Гамеев И.А., Бердников Н.М., Гравис А.Г. / Комплексный мониторинг северотаёжных геосистем Западной Сибири. /Отв. Редактор В.П. Мельников. – Новосибирск «Гео» 2012 г. – 207с.
5. Щербакова А. А., Машкова А. М., Пономарева О. Е., Щербакова К. О., Овезов Б. А. / Создание и визуализация базы данных по результатам мониторинга Надымского

геокриологического стационара / А. А. Щербакова, А. М. Машкова, О. Е. Пономарева [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 3(123). – С. 90-92. – EDN VTVKWX..

6. Щербакова, А. А. Информатизация геокриологического мониторинга / А. А. Щербакова // Инженерные изыскания в строительстве : Материалы четвертой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов, Москва, 29 апреля 2022 года. – Москва: Геомаркетинг, 2022. – С. 149-153. – EDN ADPOMM.

7. Malkova, G.; Drozdov, D.; Vasiliev, A.; Gravis, A.; Kraev, G.; Korostelev, Y.; Nikitin, K.; Orekhov, P.; Ponomareva, O.; Romanovsky, V.; Sadurtdinov, M.; Shein, A.; Skvortsov, A.; Sudakova, M.; Tsarev, A. Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic. Energies 2022, 15, 2311. <https://doi.org/10.3390/en15072311>

*Первые шаги по введению в терминологию понятия природно-техническая система
«Ограждающая конструкция-грунт»*

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

Аннотация

Рассматривается вопрос о введении в терминологию понятия природно-техническая система «Ограждающая конструкция-грунт» в связи с развитием градостроительной отрасли и всё большим освоением подземного пространства в различных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова

Природно-техническая система «Ограждающая конструкция-грунт», котлован, геотехнический мониторинг, компоненты, инженерно-геологические условия.

В настоящее время изучение системы ограждающих конструкций-грунт в стесненных условиях или с глубокой подземной частью сооружения играют ключевую роль в обеспечении устойчивости сооружения в современных тенденциях строительства. Состав, строение, состояние и свойства грунтов, как основа первичной информации для размещения объектов требует специального внимания и анализа, поскольку свойства грунтового массива напрямую влияют на надежность и безопасность сооружений. В данной статье будет рассмотрено значение изучения данной системы и необходимости углубленного анализа факторов, влияющих на взаимодействие ограждающих конструкций с грунтом.

Целью данной работы является введение понятия природно-технической системы «Ограждающая конструкция-грунт» (ПТС ОКГ).

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- определить структуру и основные элементы ПТС ОКГ;
- разработать теоретические основы, на которых базируются междисциплинарные направленности инженерного дела;
- исследовать и проанализировать новый термин для определения его актуальности и значимости в рамках конкретной области знаний;
- выявить основные факторы, влияющие на устойчивость системы;
- разработать рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации ПТС ОКГ.

В соответствии с порядком организации и ведения строительства, в частности, земельных работ (разработка котлована), организовывается геотехнический мониторинг параметров состояния ограждающих конструкций («стена в грунте» или шпунтовое ограждение) и окружающего грунтового массива, который необходим для обеспечения безопасного строительства и эксплуатации сооружения, а также выявления опасных процессов, своевременной предупреждающей информации для организации защитных мероприятий.

Согласно нормативному документу [1] к контролируемым параметрам при геотехническом мониторинге конструкций ограждения котлована и окружающего массива грунта вновь возводимых сооружений относятся: горизонтальные перемещения ограждающей конструкции по высоте, напряжения в конструктивных элементах, температура, глубина промерзания грунтов, уровень подземных вод за пределами ограждения, химический состав подземных вод, вертикальные и горизонтальные перемещения поверхностных грунтовых марок.

Актуальность обусловлена несколькими факторами. Строительство сооружений с глубоким котлованом в сложных инженерно-геологических условиях набирает все больше и больше популярности. При этом возникает ряд технических и экономических проблем, в том числе связанных с взаимодействием ограждающих конструкций с окружающим массивом. Оценка напряженно-деформированного состояния массива (НДС) является обязательной при

поэтапной разработке котлована и строительства сооружения с учетом взаимодействия с ограждающей конструкцией. Это необходимое условие для обеспечения безопасности при проведении земляных и строительных работ. Недостаточное изучение о взаимодействиях НДС массива и конструкций могут привести к различным негативным последствиям, появлению трещин, неравномерным деформациям, частичного или полного обрушения подпорных конструкций.

Полный цикл строительства от поэтапной разработки котлована до возведения сооружения предусматривает проведение визуальных, геодезических, инклинометрических и гидрогеологических наблюдений [2].

Визуальное наблюдение используется для отслеживания появления видимых дефектов и деформаций в несущих конструкциях ограждения котлована, распорной системы или обвязочного пояса, а также прилегающего массива. Осуществляется систематическое отслеживание их развития с целью определения характера деформаций конструкции и степени их опасности. Помимо этого, проводится осмотр поверхности грунтового массива в зоне возможных деформаций для обнаружения и отслеживания развития провалов и оседаний.

Геодезические наблюдения заключаются в определении величины и неравномерности вертикальных (осадок, просадок) и горизонтальных перемещений ограждающих конструкций котлована. Метод измерений горизонтальных и вертикальных перемещений устанавливается в зависимости от конструктивных особенностей сооружений, инженерно-геологической и гидрогеологической характеристики грунтов оснований.

Инклинометрические наблюдения включают измерения вертикальных деформаций ограждающей конструкции котлована.

Гидрогеологические наблюдения в составе геотехнического мониторинга включают в себя комплекс работ по определению изменений уровней подземных вод (УПВ) на строительной площадке и на прилегающей территории в период строительства объекта, а также на начальном этапе его эксплуатации.

Каждая фаза производственных работ имеет свои особенности и требует учета влияния на природно-техническую систему «Ограждающая конструкция-грунт». В связи с этим, необходимо разрабатывать геомеханические модели по выявлению опасных процессов при разработке котлованов с целью повышения безопасности и эффективности строительства. Обоснованное описание поведения напряженно-деформируемого состояния массива и его взаимодействие с сооружением зависит от правильности получения инженерно-геологической информации и получения механических свойств грунтов [4].

ПТС ОКГ схематически представлена на рисунке 1. Она включает две подсистемы: «инженерное сооружение» - ограждающая конструкция и «область взаимодействия». Последняя представляет собой совокупность геологических особенностей территории, на которой происходит изменения естественных условий, определяющие степень благоприятности строительства и эксплуатации сооружения. Область взаимодействия формируется в конкретных инженерно-геологических условиях, которые характеризуются набором компонентов, определяющих совместную работу с компонентами инженерного сооружения. Строительство любого инженерного сооружения на ограниченной площадке начинается с заложения фундамента, что в свою очередь влечет строительство различных видов ограждающих конструкций. ПТС ОКГ начинает работать уже при первых вмешательствах со стороны человека. Особую роль при функционировании системы занимают геомеханические процессы – связанные с изменением напряженно-деформируемого состояния массива на всех стадиях «жизни» сооружения от строительства до эксплуатации. В совокупности все компоненты области взаимодействия характеризуются набором параметров и совместно влияют на ПТС «Ограждающая конструкция-грунт». При неконтролируемом изменении одного или нескольких

элементарных единиц (элементов) разных подсистем приводит к нарушению равновесия в ПТС ОКГ с частичным или полным неблагоприятным исходом.

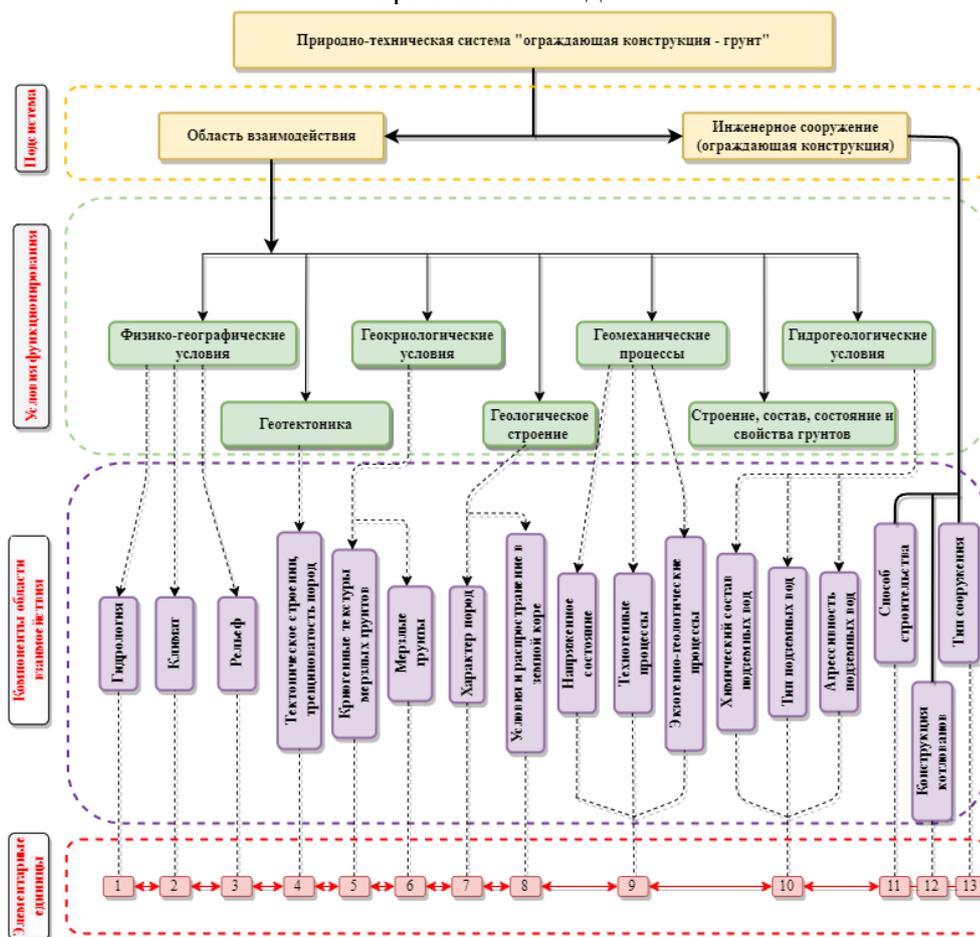


Рисунок 1. Структура ПТС ОКГ: 1 – модуль стока воды, уровень воды; 2 – количество атмосферных осадков; 3 – абсолютные отметки, расчлененность; 4 – тип нарушения, степень и характер трещиноватости; 5...6 – льдистость горных пород, температура, распространение ММП; 7...8 – тип горных пород, стратиграфия; 9 – характер и тип ЭГП, критическое давление, давление грунта; 10 – характер стойкости конструкций к воздействию подземных во; 11 – с глубоким или мелким заложением фундамента; 12 – стена в грунте, опускной колодец, шпунтовое ограждение, ограждение из свай; 13 – общественное, жилое, промышленное здание и сооружение

На активной стадии техногенеза в системе развиваются внешние и внутренние силы, действующие во времени с постоянным, временным и особым приложением нагрузки. К постоянным нагрузкам относятся вес сооружения с ограждающими конструкциями, вес и давление грунтов. При наличии водоносных горизонтов в области влияния ОКГ добавляется подпорный эффект с увеличением бокового давления. Временные нагрузки характеризуются воздействием от распорных систем в котловане, строительной техники, климатической обстановки, обусловленной изменением влажности и температурного режима. К особым нагрузкам на сооружения служит сейсмическое воздействие.

Под воздействием сил на систему можно выделить типичные геомеханические модели поведения системы:

– **горизонтальные перемещения:** стены котлована могут перемещаться горизонтально внутрь котлована из-за давления грунта, нарушения проектных решений;

- **вертикальные перемещения:** дно котлована может опускаться или подниматься из-за давления грунта;
- **наклон:** стены котлована могут наклоняться внутрь котлована из-за неравномерного давления грунта, нарушения программы производств работы;
- **образование трещин:** в ограждающих конструкциях могут образовываться трещины из-за перегрузок или деформаций;
- **разрушение:** в крайних случаях ограждающие конструкции могут разрушиться из-за чрезмерных нагрузок или деформаций;
- **температурное расширение или сжатие:** при возникновении температурных деформаций распорной системы котлована, элементы конструкции смещаются внутрь котлована, а здания окружающей застройки получают дополнительную осадку [3].

Таким образом, ПТС ОКГ – это многоуровневая структура с взаимодополняющими себя элементарными единицами двух подсистем природной среды и инженерного дела, работающая как единое целое. Главной прикладной задачей ПТС ОКГ будет оценка влияния изменений в системе непосредственно на поведение массива грунта и ограждающих конструкций. Не учет и не соблюдение норм, правил в производственном процессе к комплексному подходу как инженером-геологом, так строителем приводит к дисбалансу структуры природно-технической системы «Ограждающая конструкция-грунт».

Дальнейшая работа заключается в детализации, развитии (модификации) и апробации методологии на конкретных примерах. Полученные в ходе реализации работы наработки по возможности необходимо интегрировать в нормативно-техническую документацию по инженерно-геологическим изысканиям и в проектную документацию по строительству.

Библиография

1. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.
2. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83.
3. Бояринцев А.В., Заводчикова М.Б., Зуев И.Н., Журко А.В., Камаев И.С. Поведение конструкций раскрепления котлована в зимних условиях // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 37–53.
4. Кулешов А.П., Петрова И.И. Качество инженерно-геологической информации, как определяющий фактор достоверности расчета напряженно-деформированного состояния системы «основание - грунт» // Инновации и инвестиции. – 2020 – № 7. – С. 163–167.

**СЕКЦИЯ 8.
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*Химический состав водоносных горизонтов приуроченных к отложениям карбона на
территории Московской области*

*Бенедечук А.В. * (МГРИ, anna9827472@yandex.ru),*

Алентьев Ю.Ю. (МГРИ, alentev49@mail.ru)

Аннотация

В работе рассмотрен каменноугольный водоносный комплекс, приводятся описания основных водоносных горизонтов, используемых для централизованного водоснабжения Москвы и Московской области. Выполнены сравнения микрокомпонентного и макрокомпонентного состава основных водоносных горизонтов каменноугольного водоносного комплекса, используемых для централизованного водоснабжения Москвы и Московской области.

Ключевые слова

Каменноугольный водоносный комплекс, химический состав подземных вод, Москва, Московская область.

Теория

На сегодняшний день водоснабжение Московской области практически полностью базируется на использовании подземных вод, доля которых составляет в среднем 90% от суммарного водопотребления. Для целей водоснабжения используются в основном воды каменноугольных отложений, содержащиеся в пяти водоносных горизонтах, из которых на присоединяемой к Москве территории юго-запада и Московской области повсеместное распространения имеют и в основном используются для водоснабжения только три горизонта: подольско-мячковский, каширский и алексинско-протвинский.

Водоотбор в Московском регионе осуществляется более чем из 8000 тыс. скважин. На территории Новой Москвы величина и плотность водоотбора относительно невысока - 200 тыс. м³/сут., причем 85% водоотбора приходится на подольско-мячковский горизонт, а 70% общей добычи воды осуществляется скважинами небольшой производительности - до 200 м³/сут.

Общая структура каменноугольного водоносного комплекса приводится на схематическом разрезе (рис.1) и представлена следующими водоносными горизонтами: касимовский, подольско-мячковский, каширский. Описания данных водоносных горизонтов приводятся ниже.

Водоносная касимовская карбонатная серия (С3ksm) представлена пачками известняков, доломитов, доломитизированных известняков, иногда глин. Мощность пачек колеблется от 5 до 7 м при общей мощности серии 35-45м. Кровля залегает на глубинах 30-45 м, погружаясь в северо-восточном направлении от 115 м абс. высоты (Бескудниково) до 100-80м абс. высоты (севернее Клязьминского и Пироговского водохранилищ).

Водоносная подольско-мячковская карбонатная серия (С2pd-mc) представлена известняками, доломитами с редкими прослоями мергелей общей мощностью 65-75 м. Кровля серии прослеживается на глубинах от 20 м (р. Москва и г.Москва) и 50 м (р.Лихоборка) до 150 м, что соответствует абсолютным высотам +105 и - 25м. В долине р. Москва, при впадении в нее р. Пахра, серия выходит на дневную поверхность. [3]

Водоносная каширская карбонатная серия (С2ks) представлена трещиноватыми известняками и доломитами с прослоями глин и мергелей общей мощностью от 24 до 60 м. Кровля

каширской серии залегает на глубинах 60-154 м, что соответствует абс. отметкам от +83 до – 23м, и погружается в северо-восточном направлении.

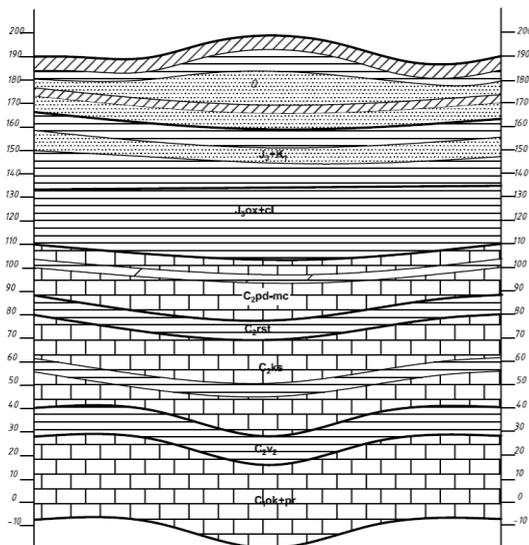


Рисунок 1. Схематический гидрогеологический разрез изучаемой территории

На основе анализа результатов химических опробования водозаборных и режимных скважин составлена сводная сравнительная таблица 1 (по макрокомпонентному составу) и таблицу 2 (по микрокомпонентному составу) основных водоносных горизонтов, каменноугольного водоносного комплекса. [5]

Таблица.1

Сравнения макрокомпонентного состава водоносных горизонтов каменноугольного водоносного комплекса по результатам гидрогеохимического опробования с литературными данными [4]

Водоносный горизонт	На основе результатов химических анализов выполненных в период с 2011 по 2014		На основе литературных данных пояснительная записка к листу карты N-37-II 2001 год
	Тип воды	Формула Курлова	Тип воды
Подольско-мячковский	Пресная гидрокарбонатная кальциевая вода	$M0,135 \frac{HCO367.6NO318.8SO410CL3}{Ca72Mg14K8Na5.5} PH6.7$	Воды гидрокарбонатные магниевые кальциевые с минерализацией 0.2-0.5г/л
Каширский	Пресная гидрокарбонатная магниевая кальциевая вода	$M0,29 \frac{HCO391.7SO43.4CL3.5}{Ca65.4Mg23Na5.9K5.8} PH7.61$	Воды гидрокарбонатные кальциевые магниевые минерализацией 0.3-0.8г/л
Алексинско-протвинский	Пресная сульфатно-	$M0,28 \frac{HCO372.4SO425.4SO21CL1}{Ca45.9Mg28Na13.6K12.7} PH7.88$	Воды гидрокарбонатные

	гидрокарбонатная магниево- кальциевая вода		и сульфатно- гидрокарбонатные магниево- кальциевые с минерализацией 0.3-0.5г/л
--	--	--	---

Таблица. 2

Микрокомпонентный состав водоносных горизонтов
каменноугольного водоносного комплекса

Показатель	Среднеголетняя содержания в единицах ПДК в подольско- мячковском водоносном горизонте	Среднеголетняя содержания в единицах ПДК в каширском водоносном горизонте	Среднеголетняя содержания в единицах ПДК в алексинско- протвинский. водоносном горизонте
Железо	81.74	3.10	0.40
Марганец	3.425	0.50	0.76
Свинец	0.19	1.03	0.13
Аммиак	0	0.29	0.19
Ртуть	0	0.40	0.42
Никель	0.16	0.82	0.22
Кадмий	0.23	0.37	0.37
Цинк	1.26	0.01	0.02
Медь	0.28	0.015	0.02
Фтор	0.62	3.10	2.17

По приведённым выше данным видно, что превышение ПДК (по СанНиП 1.2.3685-21) зафиксировано по следующим компонентам: свинец, марганец, железо, фтор.

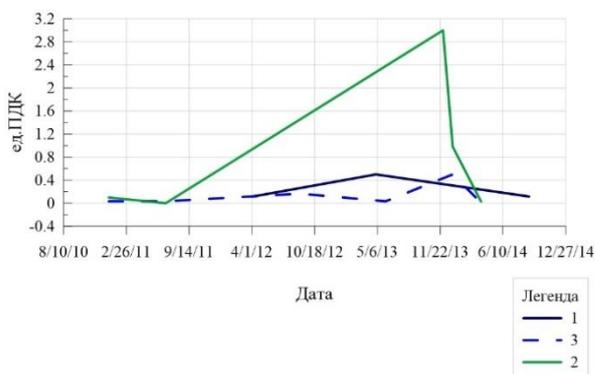


Рисунок 2. График изменения концентрации свинца, где содержание вещества под 1 - в подольско-мячковском водоносном горизонте; 2- в каширском водоносном горизонте; 3- в алексинско-протвинском водоносном горизонте

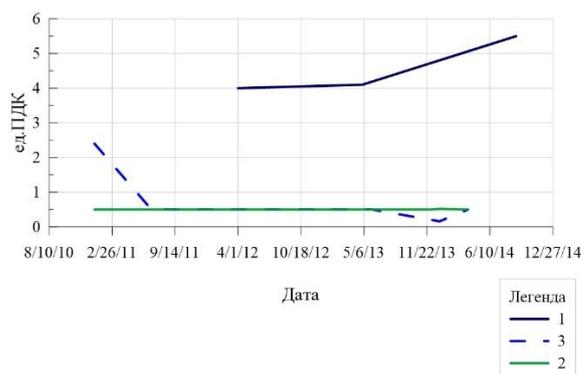


Рисунок 3 График изменения концентрации марганца, где содержание вещества под 1 - в подольско-мячковском водоносном горизонте; 2- в каширском водоносном горизонте; 3- в алексинско-протвинском водоносном горизонте

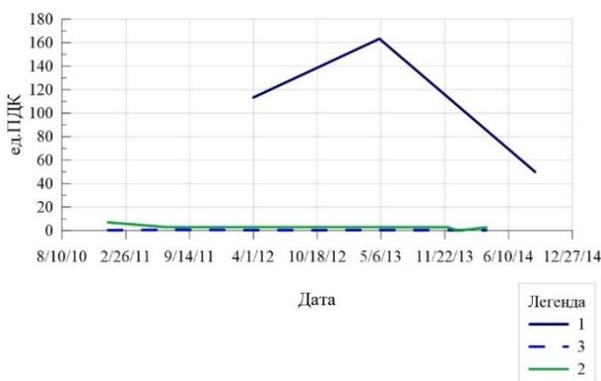


Рисунок 4. График изменения концентрации железа, где содержание вещества под 1 - в подольско-мячковском водоносном горизонте; 2- в каширском водоносном горизонте; 3- в алексинско-протвинском водоносном горизонте

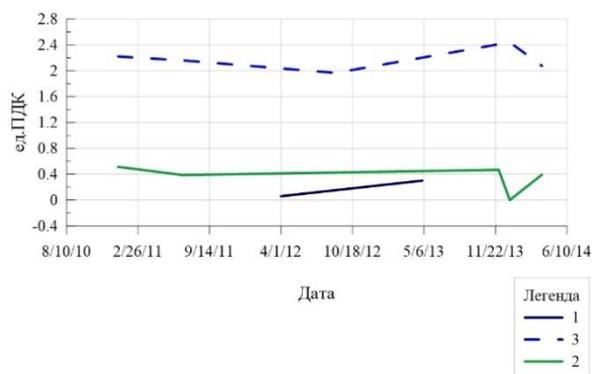


Рисунок 5. График изменения концентрации фтора, где содержание вещества под 1 - в подольско-мячковском водоносном горизонте; 2- в каширском водоносном горизонте; 3- в алексинско-протвинском водоносном горизонте

В подольско-мячковском водоносном горизонте зафиксировано превышение по компонентам железа и марганца в значительных концентрациях. Предположительно, такое превышение связано не только с естественным (фоновыми) особенностями данного водоносного комплекса, но и с антропогенным воздействием. [2]

В каширском водоносном горизонте зафиксировано превышение ПДК по железу и содержанию свинца, находится в районе предельно допустимой концентрации. Превышение железа может объясняться наличием гидравлической связи через литологические окна, с подольско-мячковским водоносным горизонтом. Высокие концентрации по содержанию свинца могут быть связано с интенсивным антропогенным воздействием, таким как автотранспорт, машиностроение, топливно-энергетические комплексы, а также с деятельностью зеркальная фабрика в Одинцово.

В алексинско-протвинском водоносном горизонте зафиксировано тенденция к повышению содержания фторидов. По степени выраженности влияния техногенных факторов

(по содержанию) фторидов алексенско-протвинский водоносный горизонт можно отнести к слабо выраженным. Тенденция по повышению содержания фторидов, по мнению авторов, в большей степени связано с естественными причинами, чем с антропогенным воздействием. Тенденции по изменению содержания фторидов в алексенско-протвинском горизонте за четыре года проиллюстрирована на графике, представленном на рисунке 4. [1]

Выводы

На основе проведенного анализа результатов химического опробования водоносных горизонтов каменноугольного водоносного комплекса можно сделать следующие выводы:

- по макрокомпонентному составу подольско-мячковский и каширский водоносные горизонты близки;

-несмотря на тенденции к повышению содержания некоторых компонентов свинца, марганца, железа, фтора в водоносных горизонтах каменноугольного комплекса, при сохранение существующей антропогенной нагрузки (без сильного увеличения) на рассматриваемой водоносные горизонты, вода из данных водоносных горизонтов, при минимальной водоподготовки, в ближайшие годы будет соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21 и является пригодной для централизованного водоснабжения.

Библиография

1. Алентьев Ю.Ю. Оценка состояния подземных вод в Истринском районе на основе данных ВБС Малая Истра. // Материалы XI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» в 3 т. Т. 2. М.: МГРИ-РГГРУ, 2013. С. 374-375.

2. Ефремов Д.И. и др. Отчет «Региональная переоценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна (Московский регион), М, 2002 г.

3. Матафонов Е.П., Заднепровская О.М. и др. Информационная записка о закономерностях формирования подземных вод на федеральном полигоне «Малая Истра» за 2013 год. М., 2014. 48 с

4. Объяснительная записка к листу N-37-II(Москва)/ Артемьева Е.С., И.С. Лачинова [и др.]; под ред. Дашевский В.В., Шахнова Р.К., Шик С.М. – спб: Изд-во СПб ВСЕГЕИ, 2001 - 130с.

5. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (с изменениями на 30 декабря 2022 года)

*Исследование и оценка энергетических параметров внутренних систем водоснабжения и
водоотведения жилых зданий*

*Дерюшев Л.Г. МГРИ, Derjushev13@mail.ru,
Борисова П. А.* (МГРИ, borisova_bb-18@mail.ru)*

Аннотация

Анализируются методы расчета расходов воды внутренних систем водоснабжения РФ и зарубежных стран. Отмечаются положительные и отрицательные стороны, обосновываются предложения по их совершенствованию.

Ключевые слова

Внутренние трубопроводные системы, водоснабжение, методика расчета.

Теория

С введением в действие СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» (актуализированная редакция СНиП 2.04.01–85*) в печати появились предложения по их совершенствованию [1, 2] и замечания о том, что порядок расчёта водопроводных сетей холодной и горячей воды не обладают правовой легитимностью, а его применение повышает вероятность проектных ошибок и усложняет процедуру доказательства точности их оценки [3].

Нормируется [8], оценку расчетного расхода воды на участке сети внутренней трубопроводной системы водоснабжения выполнять с учетом зависимости

$$q_o = \sum_{i=1}^m N_i P_i q_{oi} / \sum_{i=1}^m N_i P_i, \quad (1)$$

где N - количество санитарно-технических приборов;

m - количество групп водопотребителей;

q_{oi} - расход воды санитарно-техническим прибором i , л/с;

P_i - вероятность действия i -го санитарно-технического прибора, для группы водопотребителей,

- при одинаковых водопотребителях

$$P_i = q_{hr,u} \cdot U / 3600 \cdot q_o \cdot N, \quad (2)$$

-- при разных водопотребителях

$$P = \sum_{i=1}^m N_i P_i / \sum_{i=1}^m N_i; \quad (3)$$

U_i - число потребителей выбранной группы;

$q_{hr,u}$ - норма расхода воды в час наибольшего водопотребления, л/ч.

Результатирующая оценка параметра q_o для всей трубопроводной сети, отличается от аналогичной оценки по требованиям [9], настолько, что при согласовании балансовых расчетов расходов воды по объекту в муниципальных административных организациях заказчик не получает подтверждения о ее объективности.

Событие, связанное с включением или отключением санитарного прибора (см. рис.1), относится к дискретным случайным величинам, а расход воды потребителем или санитарным прибором - к непрерывным. Методы оценки дискретных и непрерывных величин различаются.

При оценке расчетного расхода воды i -го прибора q_{oi} по формуле (1), одновременно рассматриваются и дискретные и непрерывные величины. Анализ данных настоящих исследований режимов водопотребления в жилых домах г. Москвы, научных материалов и нормативных документов [5,6,7,8,10] позволяет утверждать, что потребление воды жителем в течении суток целесообразно допускать не в одном здании, а в нескольких, поскольку существует вероятность обора воды и в других помещениях, зданиях. Если потребители U отбирают воду и допускается, что каждый из них может отбирать воду для мойки, стиральной машины, ванны и т.д. одновременно, то его расход воды не обязательно достигнет значения $q_{hr, u}$, поскольку вероятность его присутствия на объекте $P \leq 1$.



Рисунок 1. Смеситель подачи воды

До 1985 г в нашей стране использовались методы расчета внутренних систем водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений сравнительно схожими с методами, применяемыми в США и Европейских странах. Очевидно, что эти нормативы не могут относиться к идеальным, но отдельные предпосылки, которые используются в них, можно учесть при совершенствовании отечественных правил расчета внутренних систем водоснабжения зданий.

В стандарте BMS65 США, для определения расчетных расходов в сетях внутренних водопроводов принимаются следующие предпосылки [5,10]:

1) вероятность одновременного действия количества m санитарных приборов из числа n , установленного на расчетном участке, вычисляется на основании функции биномиального распределения:

$$P(n, m) = m! [m(n - m)!] (t / T)^m [(T - t) / T]^{n-m}, \quad (4)$$

где t/T - вероятность работы санитарного прибора;

t - продолжительность работы санитарного прибора;

T - продолжительность пользования санитарным прибором;

2) вероятность нарушения расчетного режима принимается 0,01, т.е. в течение максимального водоразбора вероятность включения в работу $m+1$ водоразборных точек не превышает $F \leq 0,01$, где $F = 1 - P$

Учитывая, что внутренний водопровод объединяет санитарные приборы различного назначения, было введено понятие "веса" того или иного санитарного прибора в системе, т.е. эквивалента санитарно-технического оборудования (это принималось ранее в нашей отечественной практике [6, 7]), и вычисления расчетных расходов на участках сети предлагается выполнять по формуле:

$$q = 1,5 N^{0,561}, \quad (5)$$

где q – расчётный расход, галлон/мин (3,79 л/мин=0,063 л/с);

N - количество санитарных приборов, выраженных в эквивалентах.

За эквивалентный расход принимается подача воды смывным краном унитаза. Соотношение по расходам горячей и холодной воды принимается равным: 0,25/0,75 (для сравнения, в нормативах [8]: $q^h=q^c$, 0,2=0,2 л/с; при температуре воды $\square t^o=(75^o+15^o)/2=45^o$ можно и ошпариться). В этом случае расходы в каждой сети вычисляются исходя из величины общей расчётной нагрузки, выраженной в эквивалентах, и умножаются на снижающий коэффициент, учитывающий одновременность работы приборов системы холодного и горячего водоснабжения.

По мнению американских инженеров, рекомендованный метод определения расчетных расходов в большей мере отвечает требованиям эксплуатации систем водоснабжения в общественных зданиях. Расчетные расходы воды в жилых зданиях, оснащенных большим количеством санитарно-технического оборудования, являются завышенными. Поэтому при гидравлическом расчете производится их корректировка.

Потери напора в сети внутреннего водопровода рекомендуется оценивать до «центра тяжести нагрузки стояка». Одновременно с этим необходимо выполнять поверочный расчет, выявляющий достаточность напора (без учета потерь в трубопроводах) для нормальной работы, наиболее удаленной и высокорасположенной водоразборной арматуры. То обстоятельство, что понижающий коэффициент все же вводится в расчет, служит объяснением неполноценности рассматриваемого метода оценки расходов, кроме того, не гарантирует бесперебойности его подачи не только выполнением мероприятий по методике США, но и отечественных нормативных требований [8],

В справедливости отмеченных замечаний можно убедиться (см. табл.1), если выполнить даже элементарные замеры расходов воды, которые наблюдаются при заполнении мерных сосудов в квартире из водоразборной арматуры (крана, вентиля), с соблюдением законов подобия: геометрического, кинематического и гидродинамического. Согласно примечанию, п.5.2.2. СП [8], общий расход воды q_o^{tot} (холодной и горячей), отбираемый из системы с помощью санитарно-технического прибора, по которому отсутствуют сведения, допускается принимать: $q_o^{tot} = 0,3 \text{ л/с}$, $q_o^h = q_o^c = 0,2 \text{ л/с}$, где q_o^h , q_o^c - расходы горячей и холодной воды, соответственно, л/с.

Таблица 1

Данные замеров расходов воды, забираемой через водоразборный кран раковины со смесителем

№	Диаметр струи, d , мм	Время заполнения емкости $W=1$ л, t , с	Расход воды q_o^{Σ} , л/с	Площадь поперечного сечения струи, $\square \square 10^{-3}$, м ²	Примечание: степень открытия крана
1	5	27	0,037	0,0196	частичное
2	6	22	0,045	0,0282	-«-
3	7	17	0,059	0,0384	-«-
4	8	11	0,09	0,0480	-«-
5	9	9	0,11	0,0635	-«-
6	10	6	0,16	0,0785	-«-
7	11	4,5	0,22	0,0949	-«-
8	12	3,3	0,30	0,113	полное

Следует отметить, что для нормального отбора воды, с учетом минимального образования брызг и экономии воды (при наличии водомеров в квартире и здравомыслия), достаточно струи диаметром $d=7 \square 8$ мм, т.е. $q_0^\Sigma = 0,059 \square 0,09 \square 0,06$ л/с, что в 5 раз меньше нормируемого расхода вода: $q_0^{tot} / q_0^\Sigma \square 0,3/0,06=5$.

Для сравнения можно привести данные расчетных расходов воды (см. табл. 2), которые принимались в нашей стране [6,7].

Таблица 2

Расчетные (максимальные) расходы воды и эквиваленты санитарных приборов

Приборы	D подводки, мм	Расчетный расход воды, л/с	Эквивалент
Водоразборный кран с аэратором	10-15	0,2	1
Туалетный кран для умывальника	10-15	0,07	0,33
Смеситель для умывальника	10-15	0,1	0,5
Смеситель для душевых	10-15	0,1-0,14	0,5-0,7
Клапан смывного клозетного бачка	10-15	0,1	0,5

В настоящее время можно допустить, что все водоразборные краны (умывальников, душевых, моек) оборудованы смесителями, а потому оценка расхода воды, забираемой из водоразборного крана, $q_0^\Sigma=0,06$ л/с – не отвергается, поскольку вероятность среднего значения расхода воды потребителем имеет наибольшее значение по мнению специалистов многих стран [5,10].

В Англии, Франции, Италии, как и в США, строгих ограничений в использовании методов оценки расходов и гидравлического расчета трубопроводов не предусматривается. Вычисление коэффициентов одновременности действия водоразборной арматуры аналогичен методу, применяемому ранее в РФ [6,7].

В заключении можно сделать вывод, что назначать одинаковые расходы горячей и холодной воды при наличии разницы температур $\square t^\circ=45^\circ \square 60^\circ \text{C}$, но и условия, что: $q_o^h = q_o^c = 0,2 \text{ л/с}$; $q_o^{tot} = 0,3 \text{ л/с}$. Не может часть воды исчезать, если в смеситель подается, как утверждается [8], $q_o^{tot} = (0,2 + 0,2) = 0,3$ л/с. Целесообразно доработать методику оценки расходов воды в системах внутреннего водоснабжения на объектах с учетом отечественных и зарубежных результатов исследований.

Выводы

1. Анализ методов расчета расходов воды при проектировании внутренних систем водоснабжения, которые ранее использовались в нашей стране и за рубежом, позволяет сделать вывод о их подобии.

2. В целях совершенствования методов расчета расходов воды необходимо провести дополнительные исследования по уточнению расходов воды в системах внутреннего водоснабжения объектов

Библиография

1. Борисова П.А., Дерюшев Л.Г. Предложения по совершенствованию методик расчета систем внутреннего водоснабжения зданий на базе анализа рекомендаций, нормируемых в США, Англии, Франции и Италии. // IX Международная научная конференция молодых ученых "Молодые - Наукам о Земле" Россия. МГРИ. М., 2020.С.320-326.

2. Дерюшев Л.Г., Дерюшева Н.Л., Борисова П.А. Оценка расходов воды в смесителе с водоразборной арматуры. // XV Международная научно-практическая конференция "Новые идеи в науках о Земле" МГРИ. М., 2021. С.261-266.

3. Дерюшев Л.Г. К вопросу актуализации нормативных документов в области водоснабжения и водоотведения // XV Международная научно-практическая конференция "Новые идеи в науках о Земле" МГРИ. М., 2021. С.266-270.

4. Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. Методология проектирования систем водоснабжения МКД. // СОК №4. М., 2019. С. 14-17.

5. Дунин - Барковский И.В. и Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). //Технико-теоретической литературы.1955. С.17-80

6. Конюшков А.М. Водопотребление и состояние водоснабжения в зарубежных странах. // ЦИНИС, 1958. С. 2-35.

7. Репин Н.Н., Шопенский Л.А. Санитарно-технические устройства и газоснабжение зданий. // Стройиздат. 1975. С.75

8. СНиП □ - Г. 1-70. Внутренний водопровод зданий. Нормы проектирования. М., 1970.

9. СП 30.13330 -2020. "Внутренний водопровод и канализация зданий". 2021.

10. СП 31. 1330-2012. "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения". 2019.

11. Шопенский Л.А. Методы расчёта внутренних водопроводов в США, Англии, Франции и Германии. // Информационно-издательский сектор, 1964. С. 3- 48.

Микробиологический анализ воздуха в пространстве самотечных трубопроводов
Жирнов Р.О. (МГРИ, roman-zhirnov.95@mail.ru),*
Ерхов А.А. (МГРИ, a-erhov@yandex.ru)

Аннотация

В работе проанализированы данные отечественной и зарубежной литературы. На основе результатов эксперимента, выполненного с применением газоанализатора, дана оценка санитарно-эпидемиологического состава воздуха-аэрозоля и сделаны выводы. Полученные данные свидетельствуют о суточной цикличности изменения концентрации сероводорода и других газов в канализационных колодцах. Обнаруженные бактерии *Citrobacterfreundii*, *Bacillus cereus*, *Citrobactergillenii* и др., присутствуют в воздухе замкнутого пространства колодцев и способны оказывать негативное воздействие на организм, и проведение мероприятий по санации трубопроводов является необходимым условием нормального функционирования канализационных систем. При ненарушенной герметичности системы канализации негативное влияние запахов и содержащихся в газах микроорганизмов минимально или отсутствует.

Ключевые слова

Канализация, микроорганизм, воздух-аэрозоль, запах.

Теория

Микробиологический анализ воздуха в процессе эксплуатации инженерных систем играет ключевую роль в сохранении здоровья и обеспечении безопасности окружающей среды. Воздух является носителем патогенных микроорганизмов. Неприятные запахи, исходящие из замкнутых систем водоотведения в атмосферу, ухудшают качество жизни. Распространение носителей инфекций, содержащихся в дурнопахнущих газах, опасны, в связи с чем существенное значение принимает их микробиологический анализ [1].

В России имеется положительный опыт борьбы с запахами, проделана работа по измерению его интенсивности, нормированию и контролю, оптимизации режимов работы водоотводящих сетей, но на законодательном уровне проблема не нашла решения [2, 3].

Целью работы является изучение микробиологического состава воздуха в воздушном пространстве самотечных трубопроводов. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи: проведено ознакомление с требованиями отбора проб воздуха и приборами, необходимыми для анализа; изучены методы санитарно-эпидемиологического исследования воздуха и влияния сточных вод на воздух; проведены исследования микробного состава воздуха внутри самотечных трубопроводов.

Научная новизна. Значительное количество публикаций посвящено вопросам изучения состава гидравлического режима течения жидкости в самотечных и напорных водоотводящих сетях, а также качественных характеристик сточных вод, провоцирующих появление дурнопахнущих и вредных для здоровья людей запахов [4, 5]; возникновение неприятного запаха канализации связано с жизнедеятельностью микробиоценоза и определяется его распространением со сточной водой и воздухом по сетям канализации. Однако в теории микробиологического состава воды и аэрозоля водоотводящих трубопроводов имеется пробел, – настоящая работа – важный шаг в совершенствовании теории распространения инфекций.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являлось определение степени загазованности воздуха в канализационных колодцах и изучение микробиологических показателей воздуха-аэрозоля в подводящем пространстве самотечных трубопроводов. В проведенных исследованиях стационарные экспериментальные измерения проводились в течение нескольких суток в соответствии с настроенным режимом работы газоанализаторов, а разовые – в дневное время при наполнении $\square = 0,3$ в трубопроводе условным проходом

$d = 80$ см. Пробы воздуха-аэрозоля отбирали из верхней части канализационных колодцев и подводящем пространстве самотечных трубопроводов. Для измерения загазованности воздушной среды в колодцах использовали четырехсенсорный газоанализатор. Замеры проб производились в автоматическом режиме. Микробиологические анализы проводились параллельно двумя путями: посевом на мясопептонный агар и на среду Эндо. Для определения загрязнений воздуха микроорганизмами использовался метод с использованием прибора Кротова.

За период проведения исследований в подводящем воздушном пространстве трубопроводов концентрация сероводорода изменялась в пределах 5–23 мг/м³. В статье Разакова М.А. и Прохорова В.И. даны обобщенные характеристики загрязняющих веществ воздушной среды на различных сооружениях системы водоотведения. В таблице 1 представлены концентрации наиболее важных химических соединений и некоторые показатели сточных вод для трубопровода в системе водоотведения [6].

Таблица 1

Обобщенные характеристики загрязняющих веществ воздушной среды трубопроводов

<i>Наименование вещества</i>	<i>Концентрация, мг/м³</i>
Сероводород (ПДК максимально разовое 0,008 мг/м ³)	до 495
Сероводород в смеси с углеводородами C1 - C5	до 495
Углеводород (алифатические предельные C1 - C10 «в пересчёте на C») в т.ч. CO ₂	5-350
Метан (ПДК максимально разовое 50 мг/м ³)	до 665
Температура сточных вод	15-40□

Концентрация сероводорода в исследуемом трубопроводе значительно превышает максимально допустимую в атмосфере городов (0,008 мг/м³). Но не превышает обобщенного значения из таблицы 1. Цикличность изменения концентрации сероводорода связана с суточным колебанием расхода воды и концентрации загрязнений. Данные по эмиссии газов (метана, водорода, сероводорода, оксида углерода), представленные на рисунке 1, наглядно отображают колебания их концентрации в пробах воздуха из колодцев в течение суток. На этих графиках прослеживается изменение концентрации газов в различные часы суток (от минимальных и максимальных), соответствующие реальным расходам транспортируемой воды, например, при минимальном расходе в четыре-пять часа утра и максимальном расходе – в 14 ч по полудни.

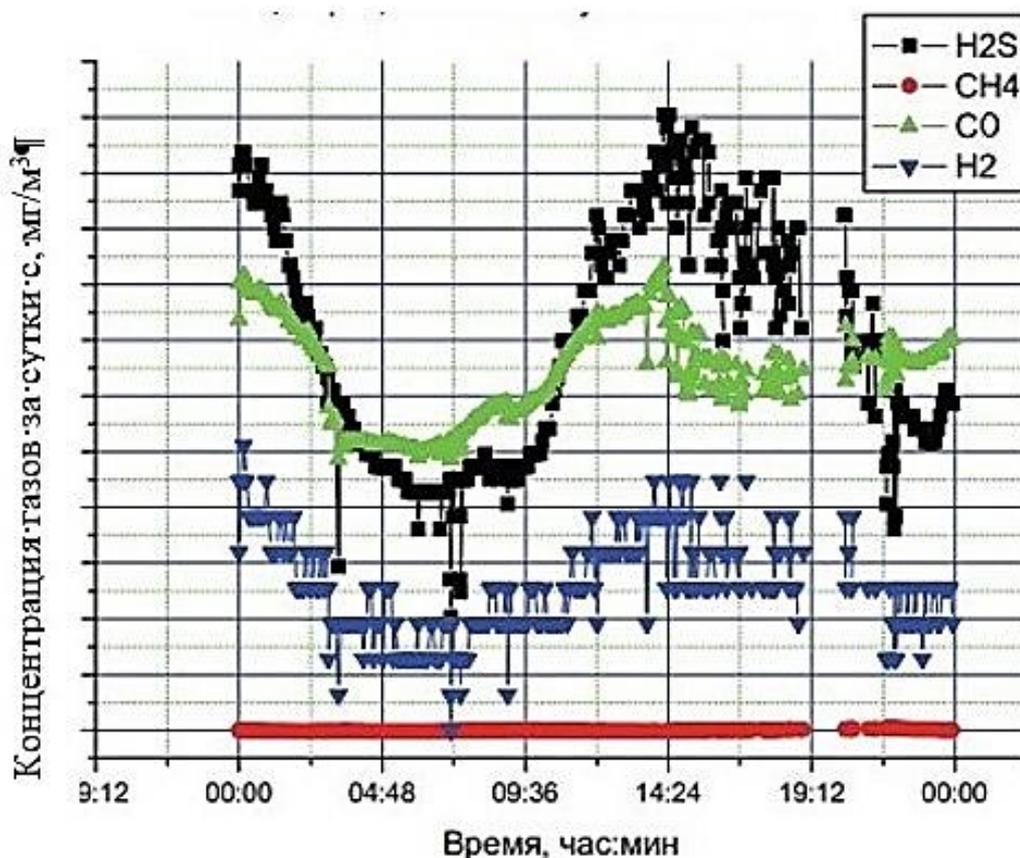


Рисунок 1. Графические зависимости, иллюстрирующие колебания концентрации различных газов в различные часы суток

Количество бактерий на среде Эндо и на среде МПА было одинаковым и составило $9,2 \times 10^2$ КОЕ/м³ воздуха, что свидетельствует о высокой степени сходимости результатов. В воздухе подводного пространства трубопровода, выделены следующие культуры: *Bacillus megaterium*, *Escherichia coli*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus cereus*, *Citrobacter gillenii*, *Streptococcus haemolyticus*, *Leclercia adcarboxylata*, *Escherichia vulneris*. Выделенные в пробах воздуха бактерии *Citrobacter gillenii* являются представителями условно-патогенной микрофлоры, даже в минимальных их количествах могут вызывать цитробактериоз (острое инфекционное заболевание пищеварительной системы).

При исследовании смывов со стенок трубопровода были обнаружены следующие бактериальные культуры: *Pseudomonas soleovorans*, *Staphylococcus epidermidis*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus haemolyticus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*. Обнаруженная в смывах *Bacillus subtilis* для человека безопасна. Сенная палочка улучшает и регулирует здоровый метаболизм. Наиболее опасными микроорганизмами в смывах оказалась *Klebsiella pneumoniae*, вызывающая такие заболевания как пневмония, сепсис, инфекции мочевыводящих путей, бактериемию, менингит и абсцессы в печени; *Enterobacter cloacae* может вызывать кишечные, респираторные, урогенитальные гнойные заболевания.

Выводы

По результатам исследования установлена суточная цикличность изменения концентрации сероводорода и других газов, что совпадает с суточным графиком водоотведения.

Обнаруженные виды микроорганизмов (*Citrobacterfreundii*, *Bacilluscereus*, *Citrobactergillanii* и др.) способны оказывать негативные воздействия на организм, поэтому проведение мероприятий по санации трубопроводов является необходимым условием нормальной работы персонала в асептических условиях канализации.

Видовые составы микроорганизмов в пробах сточной воды и воздуха самотечных трубопроводов не могут оказывать влияния на здоровье людей при ненарушенной герметичности системы транспортирования сточной воды по водоотводящим сетям.

Библиография

1. Храменков С.В. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации / С. В. Храменков, А. Н. Пахомов, Д. А. Данилович и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 11. – С. 25–30.

2. Рублевская О.Н. Мероприятия по предотвращению распространения неприятных запахов на объектах ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» / О. Н. Рублевская // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – №10. – С. 46–55.

3. Чупин Р.В. Оптимальная реконструкция канализационных сетей / Чупин Р. В., Нгуен Туан Ань// Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 2. – С 16–19.

4. Кулаков А.А. Экологическая оценка комплекса «водный объект – выпуск очищенных сточных вод» / А. А. Кулаков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 5. – С. 25–30.

5. Примин О.Г. Методы повышения экологической безопасности трубопроводов канализационных сетей / О. Г. Примин, Е. И. Пупырев// Экология и промышленность в России. – 2013. – №3. – С. 13–17.

6. Разаков М.А., Прохоров В.И. Исследование параметров воздушной среды на сооружениях системы водоотведения/ М.А. Разаков, В.И. Прохоров // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2023. Выпуск 2. – С. 45-59.

*Очистка ливневого стока для условий южных регионов Вьетнама
Зыонг Н.Н.* (каф. ССВВ-МГРИ, nhutnamtk@gmail.com),
Гогина Е.С. (зав. каф. ССВВ-МГРИ, goginaes@mgri.ru)*

Аннотация

В связи с нынешним глобальным дефицитом воды поиск стратегий, которые могут эффективно обеспечить безопасность и устойчивое использование воды, стал актуальной проблемой, которую необходимо решить сегодня. Дождевая вода – это вид чистой энергии, и методы очистки и повторного использования дождевой воды стали ключевым вопросом, заслуживающим внимания [1]. Дождевая вода уже много лет используется во Вьетнаме в качестве питьевой воды, особенно в сельских районах, и считается важным источником воды. До сих пор качество дождевой воды менялось в зависимости от землепользования ландшафта, и на качество воды влияет целый ряд условий, таких как управление источниками загрязнителей, состояние водосбора, ветер и метеорологические условия, а также расположение пункты сбора дождевой воды [2]. Дождевая вода должна пройти процесс очистки, прежде чем ее можно будет использовать в качестве питьевой воды. Дождевая вода является альтернативным источником питьевой воды, широко используемым в домохозяйствах провинции Бенче на юге Вьетнама, где среднее количество осадков довольно велико и составляет около 2000 мм/год. Здесь реализовано множество проектов водоснабжения и решений по очистке дождевой воды,

Но многие проекты после эксплуатации неэффективны, особенно качество воды не соответствует стандартам QCVN.6-1:2010/ВУТ - Технический регламент Вьетнама по качеству питьевой воды. Исследование на тему «Разработка схем очистки ливневого стока для условий южных регионов Вьетнама» направлена на поиск подходящей технологии очистки дождевой воды по разумной цене, простоте эксплуатации и качеству воды после очистки соответствует вьетнамским стандартам питьевой воды.

Ключевые слова

очистка ливневого стока, дождевая вода, мембранная технология, Вьетнам, обратный осмос.

Теория

Для удаления из стоков мелких тяжелых минеральных частиц (песка, шлака, боя стекла и пр.) используют песчаные фильтры. Песчаные фильтры работают по принципу осаждения частиц под действием силы тяжести. [3]

Для удаления из ливневых стоков органических загрязнителей используют сорбционные фильтры. Они работают по принципу динамической абсорбции, при которой загрязненная вода протекает через неподвижный слой сорбента [4].

Сущность мембранных методов очистки воды состоит в переносе молекул воды из ионов через полупроницаемые «перегородки» мембраны под действием давления или электрического поля.

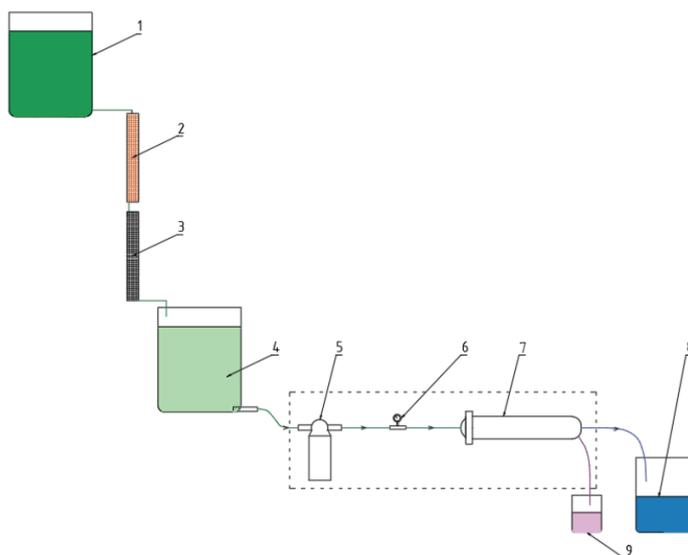


Рисунок 1. Технологическая схема для очистки дождевой воды. 1- Дождевая вода; 2- песчаный фильтр; 3- фильтр с активированным углем; 4- бак; 5- насос для повышения давления ; 6- манометр; 7- обратноосмотическая мембрана; 8-чистая вода; 9- концентрат

Порядок выполнения:

Проба дождевых вод емкостью 10 литров пропускается через песчаный фильтр, собранные воды продолжают течь через фильтр с активированным углем. Воды после прохождения через фильтр с активированным углем прокачивается через систему обратного осмоса. Технологическая схема показана на рисунке 1. Установка фильтров и обратного осмоса показана на рисунке 2.



Рисунок 2. Установка фильтров и обратного осмоса



Рисунок 3. Результаты эксперимента. 1- вода до очистки; 2- вода после фильтрования; 3- вода после обратного осмоса

Результаты очистки дождевых вод представлены в рисунок 3 и таблице 1.

Таблица 1

<i>Показатель</i>	<i>До очистки</i>	<i>После фильтрования</i>	<i>После обратного осмоса</i>
рН	9,11	8,44	7,6
Мутность, NTU	512	107	0,97
<i>Эффективность очистки от мутности, %</i>	-	<i>79,11</i>	<i>99,1</i>
ХПК, мг/л	148	121	0
<i>Эффективность очистки от ХПК, %</i>	-	<i>18,2</i>	<i>100</i>

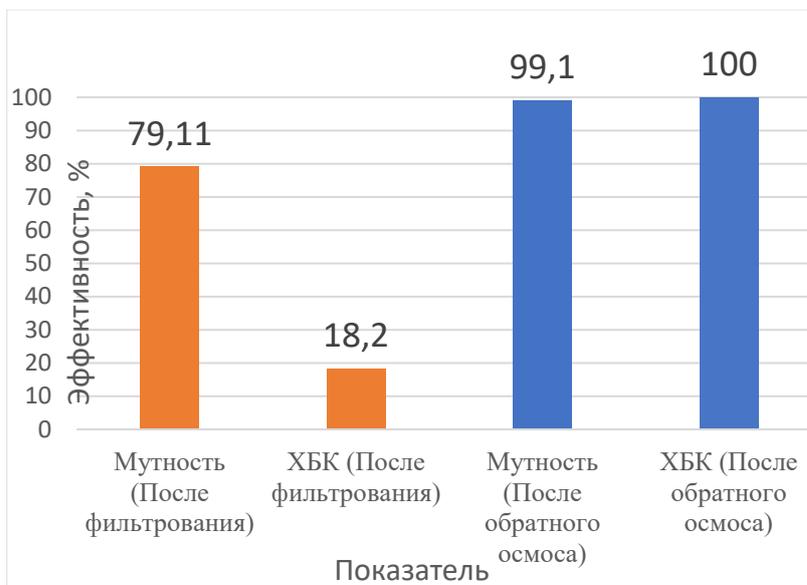


Рисунок 4. Эффективность очистки дождевых вод

Эффективность очистки дождевых вод представлены на рисунке 4.

Выводы

Наблюдение за результатами эксперимента и анализ графика показывает эффективность после фильтрации и после обратного осмоса, делают следующие выводы:

После завершения эксперимента вода прозрачная, процесс осаждения хороший, эффективность очистки ХПК высокая, эффективность очистки от мутности высокая. Вода после обратного осмоса соответствует стандартам питьевой воды Вьетнама.

Библиография

1. Сбор, очистка и возможность повторного использования ливневых сточных вод / А. А. Сахарова, А. Р. Ничипорова, А. А. Сизова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 2(79). – С. 54-62. – EDN ZYHHGH.
2. Чан Хунг, Фам Динь Кьен. Технологические решения для очистки дождевой и поверхностной воды для повседневной деятельности жителей сельской местности. Журнал ирригационной науки и техники №50 – 2018г.
3. Maryono, A., Nuranto, S., Sembada, P.T.S. and Petrus, H.T.B.M. (2022) 'GAMA-RainFilter: a modified rainwater harvesting technique to meet the demand of clean water in Indonesia', Int. J. Hydrology Science and Technology, Vol. 13, No. 1, pp.1 22.
4. Рачева, Л. Э. Актуальность проблемы очистки ливневых сточных вод в крупных населенных пунктах Российской Федерации / Л. Э. Рачева, А. В. Цыбина // Химия. Экология. Урбанистика. – 2018. – Т. 2018. – С. 122-126. – EDN YXBHVP.

Умягчение природной воды едконатровым способом
Кривенко М.П.* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе),
Гандурина Л.В. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, gand2@yandex.ru)

Аннотация

Изучена эффективность снижения мутности при умягчении воды с применением гидроксида натрия и осветлении воды отстаиванием. Показано, что максимальная эффективность снижения мутности воды ($M_{\text{очищ}} = 1,34 \text{ мг/л}$) отстаиванием достигается при использовании карбоната кальция, вводимого на стадии умягчения совместно с гидроксидом натрия. Введение флокулянтов анионного или неионного типа после завершения реакции осаждения в дозе 0,2 мг/л позволяет получить очищенную воду с мутностью 4,0-4,7 мг/л. Общая жесткость очищенной воды составляет 0,55-0,7 град.

Ключевые слова

Едконатровое умягчение, отстаивание, жесткость, мутность, гидравлическая крупность, градиент скорости, флокулянты.

Теория

Реагентное умягчение является одним из широко применяемых методов снижения жесткости (Ж) и декарбонизации природных вод [1-2]. Метод основан на реакциях химического осаждения гидрокарбонатов кальция и магния щелочными реагентами: известью (известковый способ), известью совместно с содой (известково-содовый способ), гидроксидом натрия (едконатровый способ). Эффективность реагентного умягчения зависит как от условий химического осаждения ионов жесткости, так и условий выделения образующейся взвеси из воды. Для интенсификации реакции осаждения используют предварительный нагрев воды, введение избытка осадителя, рециркуляцию осадка, изменение гидродинамических параметров, а для интенсификации процесса осветления природных вод применяют коагулянты самостоятельно или совместно с флокулянтами. Однако применяемые для умягчения воды осветлители со взвешенным слоем осадка, в которых процессы смешения с реагентами, химического осаждения солей жесткости и коагуляционного осветления воды происходят в одном сооружении, не всегда гарантируют соблюдение оптимальных условий этих процессов и обеспечение требуемого качества воды по жесткости и мутности. Более перспективными являются схемы с разделением стадий химического осаждения, коагуляции и флокуляции образующейся взвеси и осветлением воды отстаиванием. Однако такие схемы практически не применяются в отечественной практике умягчения воды, не изучены параметры отдельных стадий умягчения.

В этой связи в данной работе рассмотрены различные способы интенсификации процессов умягчения воды едконатровым способом и осветления воды методом отстаивания, такие как увеличение продолжительности реакции осаждения, введение затравочной минеральной добавки, карбоната кальция, наличие мутности исходной воды, рециркуляция осадка, применение флокулянтов, отличающихся величиной и знаком заряда. В качестве умягчителя был выбран гидроксид натрия, который позволяет одновременно снижать карбонатную и некарбонатную жесткость воды.

Умягчению подвергалась водопроводная вода, имеющая мутность (М) менее 1,5 мг/л, гидрокарбонатную щелочность ($\text{Щ}_{\text{гк}}$) 3,8-4,4 ммоль-экв/л, общую жесткость (Ж_0) 3,9-5,3 градуса, кальциевую жесткость (Ж_{Ca}) 2,8 градуса и удельную электропроводность 380-480 мкСм/см, а также модельная мутная вода с мутностью 107 мг/л. Умягчение проводили 8 % водным раствором гидроксида натрия с расчетной дозой 240-290 мг/л. Для интенсификации процесса умягчения добавляли порошковый карбонат кальция марки ХЧ в виде 5 % водной суспензии или

образующийся осадок в количестве 50 % от количества осаждаемых нерастворимых продуктов умягчения. В качестве флокулянтов применяли отечественные высокомолекулярные флокулянты на основе полиакриламида: катионный Праестол 650 (Пр 650), анионный Престол 2540 (Пр 2540) и неиононовый флокулянт РАМ 4500 китайской фирмы *Zhejiang Xinyong Biochemical Co. LTD*. Флокулянты дозировали в очищаемую воду в виде 0,1 %-ных водных растворов.

Умягчение осуществляли при механическом перемешивании на установке пробного коагулирования при комнатной температуре. Интенсивность перемешивания оценивали по величине среднего градиента скорости G , рассчитанного по методике [3]. Умягчение воды проводили по схеме: смешение воды с раствором гидроксида натрия и добавками CaCO_3 или осадка (в случае их использования) в течение 1 мин при 150 об/мин ($G=340 \text{ c}^{-1}$), химическое осаждение солей жесткости в течение 5-45 мин при 50 об/мин ($G=65 \text{ c}^{-1}$), и осветление воды отстаиванием в течение 5-15 мин. Для анализа отбирался слой воды глубиной 40 мм. Качество исходной и умягченной воды после отстаивания определяли по мутности, общей и кальциевой жесткости. Величина pH очищенной воды составляла 10,5-11,0.

Поскольку при химическом осаждении ионов кальция и магния образуются пересыщенные растворы, для перехода которых в насыщенные растворы требуется время [4] была изучена кинетика осаждения солей жесткости в течение 5-45 минут и ее влияние на остаточную мутность воды после отстаивания (рис.1)

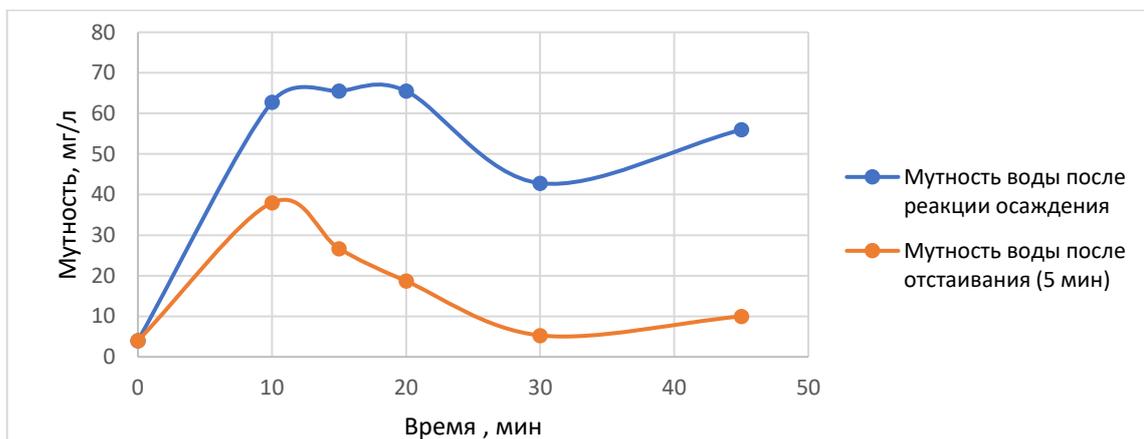


Рисунок 1. Зависимость мутности воды после реакции умягчения и отстаивания воды в зависимости от времени реакции

Как следует из рис.1, максимум мутности на кинетической кривой реакции взаимодействия солей жесткости с гидроксидом натрия достигается за 10 мин, после чего в течение 10 мин мутность практически не меняется, что свидетельствует об окончании реакции и начале осветления воды (нижняя кривая). Минимальная мутность отстоянной воды достигается при продолжительности реакции 30 мин, за которое очевидно формируются хорошо структурированные и осаждаемые хлопья продуктов реакции. Дальнейшее увеличение времени реакции не приводит к увеличению эффекта осветления, что может быть связано с изменением кристаллической структуры образующегося карбоната кальция, основного продукта умягчения [1]. Таким образом минимальная мутность умягченной и отстоянной воды (5,3 мг/л) достигается при времени реакции 30 мин.

Влияние различных способов интенсификации химического осаждения ионов кальция и магния из пересыщенных растворов на кинетику осветления умягченной воды отстаиванием показано на рис.2 при времени реакции 15 мин. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что при раздельном проведении процессов реагентного умягчения и осветления

воды отстаиванием могут применяться следующие способы интенсификации процессов отстаивания воды:

- Умягчение мутных природных вод без их предварительного осветления. При мутности воды до умягчения, равной 107 мг/л, остаточная мутность воды составляет 14,7 мг/л и равна мутности умягченной водопроводной воды.

- Умягчение воды в присутствии карбоната кальция в качестве затравочных кристаллов, при дозе которого 93,5 мг/л (30 % от массы образующихся продуктов умягчения), достигается максимальный эффект осветления воды отстаиванием. Остаточная мутность очищенной воды составляет 1,34 мг/л при одновременном увеличении гидравлической крупности выделяемой взвеси с 0,13 до 0,33 мм/с.

- Рециркуляция 50 % образующегося осадка, при которой остаточная мутность отстоянной воды по сравнению со схемами без рециркуляции снижается с 14,7 мг/л до 4-10 мг/л.

Одновременно обеспечивается уменьшение времени реакции с гидроксидом натрия с 30 до 15 мин и снижение общей жесткости воды с 3,9-5,3 до 0,55-0,7 град.

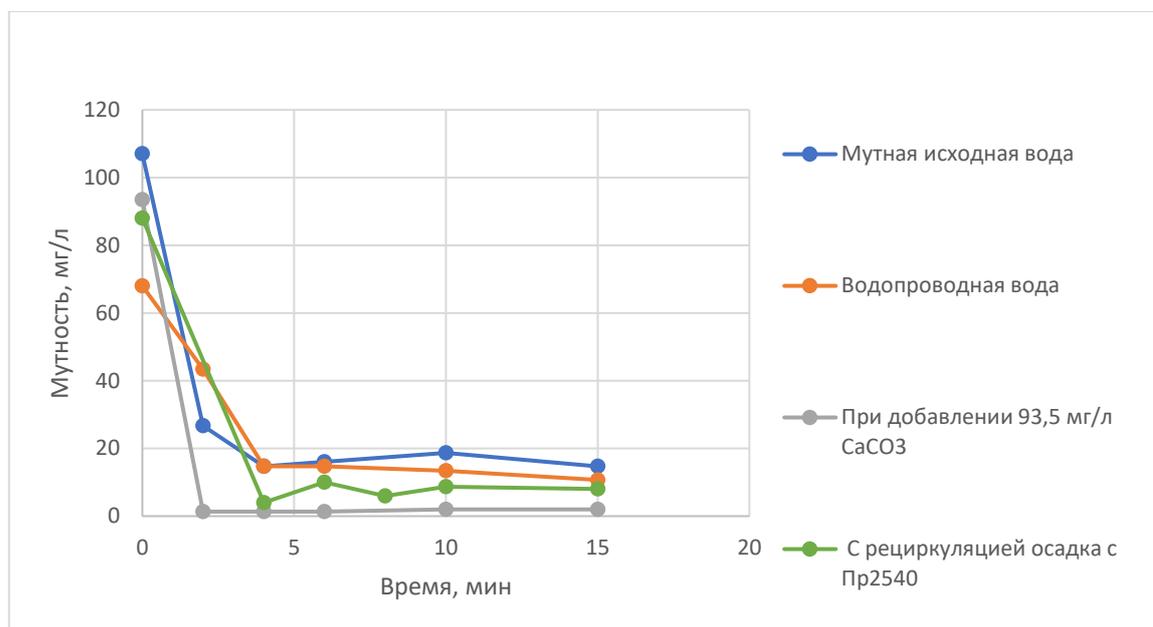


Рисунок 2. Кинетика отстаивания умягченной воды (время реакции 15 мин) в присутствии минеральных добавок

Другим способом повышения эффективности осветления умягченной воды является применение флокулянтов. Ранее было показано [5], что флокулянты могут самостоятельно применяться для очистки мутных природных вод от глинистых частиц и обладают высокой эффективностью при низких дозах. В данных исследованиях была изучена эффективность применения флокулянтов в щелочной среде для флокуляции взвеси карбоната кальция и гидроксида магния, образующейся в результате умягчения воды. Зависимость мутности отстоянной воды от дозы флокулянтов показана на рис.3, из которого следует, что неионный флокулянт РАМ 4500 и анионный флокулянт Пр 2540 при дозе 0,2 мг/л позволяют получить отстоянную воду с мутностью 4,0-4,7 мг/л. При этом анионный флокулянт Пр 2540 обеспечивает высокий и стабильный эффект осветления воды с остаточной мутностью 4,7-5,3 мг/л в широком интервале доз от 0,2 до 0,8 мг/л.

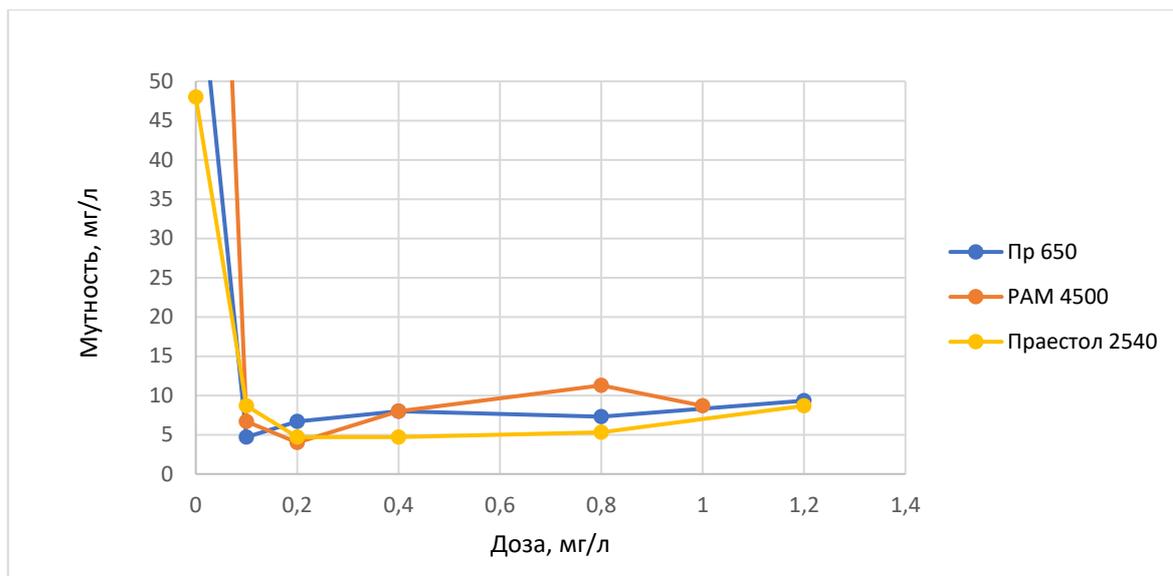


Рисунок 3. Зависимость мутности отстоянной умягченной воды от вида и дозы флокулянтов

Выводы

Установлено, что наиболее эффективными способами увеличения эффективности осветления умягченной воды отстаиванием является применение добавки карбоната кальция на стадии химического умягчения воды и использование неионного или анионного флокулянта перед осветлением умягченной воды.

Библиография

1. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков - М: Издательский дом МЭИ, 2016. 309 с.
2. Рябчиков Б. Е., Пантелеев А. А., Ларионов С. Ю., Савочкин А. Ю., Шилов М. М., Касаточкин А.С. Современное состояние развития установок для умягчения / декарбонизации воды известкованием (обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 1. С. 26.
3. Гандурина Л.В. Основы химии и микробиологии воды: учебное пособие [Электронный ресурс]. - М.: МГРИ. 2019.
4. Присяжнюк В.А. Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях // СОК. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2003, №10, с. 26.
5. Гандурина Л.В., Фрог Б.Н., Гиро К.С. Осветление мутных вод с применением катионного флокулянта Праестол 650 // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 4. С. 4.

***Комплексный сульфатно-хлоридный титансодержащий коагулянт в процессах очистки
ливневых стоков***

***Кузин Е. Н. * (Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
Kuzin.e.n@muctr.ru)***

Аннотация

Вопросам разработки и внедрения новых коагулянтов посвящено множество научных работ, при этом данная тема не теряет своей актуальности. В последнее время все больше исследователей называют коагулянты на основе солей титана – новым витком эволюции процесса водоочистки.

Несмотря на повышенную эффективность, данные реагенты имеют крайне высокую стоимость, что существенно замедляет их повсеместное внедрение. Выходом из сложившейся ситуации может стать применение комплексных титансодержащих реагентов, полученных модификацией солей алюминия или железа добавкой 2,5 – 10 % соединений титана.

В рамках проделанной работы исследована возможность применения комплексных сульфатно-хлоридных титансодержащих коагулянтов в процессах очистки атмосферных (ливневых) стоков. Установлено, что по своей эффективности комплексный сульфатно-хлоридный титансодержащий коагулянт значительно превосходит традиционный сульфат алюминия. Помимо снижения остаточной концентрации загрязняющих веществ, применение комплексного реагента позволяет снизить эффективную дозировку реагента, а также интенсифицировать процессы седиментации коагуляционных шламов.

Ключевые слова

Комплексный титансодержащий коагулянт, ливневые стоки.

Теория

Очистка сточных вод – сложная и актуальная задача. Множество разработок посвящено процессам удаления из промышленных сточных вод специфических загрязняющих веществ (тяжелые металлы, фенолы, активные фармацевтические субстанции и пр.). Применение данных технологий позволяет существенно минимизировать уровень негативного воздействия предприятия на гидросферу.

К сожалению, процессы очистки атмосферных (ливневых) стоков ввиду своей относительной простоты не привлекают достаточного внимания со стороны исследователей или производственных предприятий. Именно поэтому атмосферные стоки с промышленных площадок предприятий попадают в водные объекты либо с минимальной очисткой, либо вовсе без очистки.

Типичная схема очистки атмосферных стоков включает в себя систему нефтеловушек, отстойников, песчаных и адсорбционных фильтров. Наиболее современные производственные предприятия применяют коагуляционную обработку (иногда в сочетании с флотацией) с целью повышения эффективности очистки и сокращения габаритных размеров нефтеловушек, отстойников и фильтров.

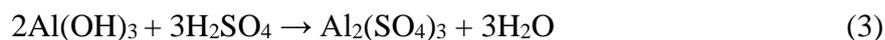
Традиционные коагулянты на основе солей алюминия и железа применяются достаточно давно и хорошо зарекомендовали себя. Низкая стоимость, достаточная эффективность, распространенность — вот основные преимущества классических реагентов. Несмотря на это соли алюминия малоэффективны для холодных стоков, имеют крайне жесткий норматив по остаточному содержанию и работают в узком диапазоне pH. Железосодержащие коагулянты способны образовывать хорошо растворимые соединения с органическими лигандами (цитраты, оксалаты и пр.), сильно корродируют оборудование, а образующиеся коагуляционные шламы крайне плохо отделяются на фильтрах [1-3].

Титансодержащие коагулянты – по заверению ряда научных коллективов являются новым витком эволюции, однако их крайне высокая стоимость существенно тормозит их повсеместное внедрение [3-5]. Альтернативой могут стать комплексные титансодержащие реагенты, полученные добавкой 2,5 – 10,0 % соединений титана к традиционным алюминий или железосодержащим коагулянтам [2-3, 5].

Основной целью данной работы является оценка возможности применения комплексного сульфатно-хлоридного титансодержащего коагулянта в процессах очистки атмосферных (ливневых) сточных вод.

Экспериментальная часть

В качестве образца комплексного титансодержащего коагулянта был использован сульфатно-хлоридный титансодержащий коагулянт, полученный в результате трех последовательно протекающих реакций гидролиза тетрахлорида титана (реакция 1), взаимодействия соляной кислоты с гидроксидом алюминия (реакция 2) и реакцией нейтрализации серной кислоты гидроксидом алюминия с образованием 18-водного кристаллогидрата (реакция 3). Реакционная смесь при охлаждении до комнатной температуры самопроизвольно затвердевает в процессе химической дегидратации (построение 18-водного кристаллогидрата сульфата алюминия при связывании свободной влаги из раствора).



Полученный образец коагулянта представлял из себя смесь сульфата (68 % масс.) и хлорида алюминия (22 % масс.), а также 10 % масс. оксисульфата титана. Оценку эффективности проводили на ливневом стоке машиностроительного предприятия Московской области по изменению содержания взвешенных веществ (гравиметрическое определение в сочетании с нефелометрией) и нефтепродуктов (ИК-спектроскопия с экстракцией на четырёххлористом углероде).

Исходное содержание взвешенных веществ в ливневом стоке составляло 284 мг/дм³, нефтепродуктов 3,6 мг/дм³. В качестве образца сравнения использовали сульфат алюминия производства Kemira (Финляндия). Jar-test проводили на лабораторном флокуляторе JLT4 фирмы Velp (Италия). Время быстрого смешения коагулянта с водой – 2 минуты, хлопьеобразование (медленная коагуляция) – 8 минут, седиментация – 30 минут. Скорость седиментации определяли фотометрически до установления постоянных значений.

Данные по изменению содержания взвешенных веществ в зависимости от типа и дозы применяемого коагулянта представлены на графике рис. 1, а данные по изменению содержания нефтепродуктов на графике рис. 2.

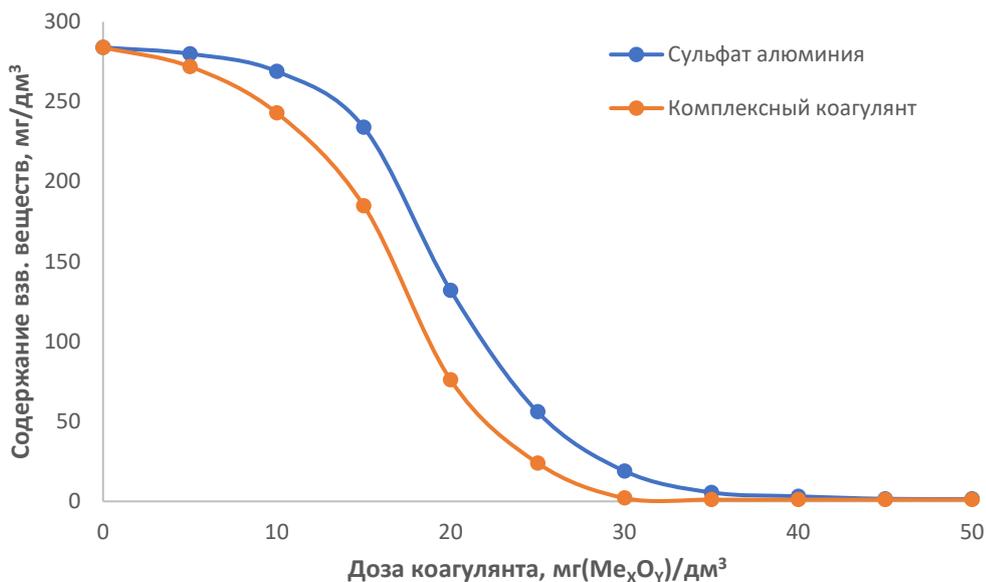


Рисунок 1. Изменение концентрации взвешенных веществ в зависимости от типа и дозы применяемого коагулянта

Из данных графика 1 хорошо видно, что эффективная доза комплексного титансодержащего коагулянта в среднем на 25 % ниже, чем у традиционного сульфата алюминия. Остаточные концентрации взвешенных веществ составили 1,1 и 3,2 мг/дм³ для комплексного коагулянта и сульфата алюминия соответственно.

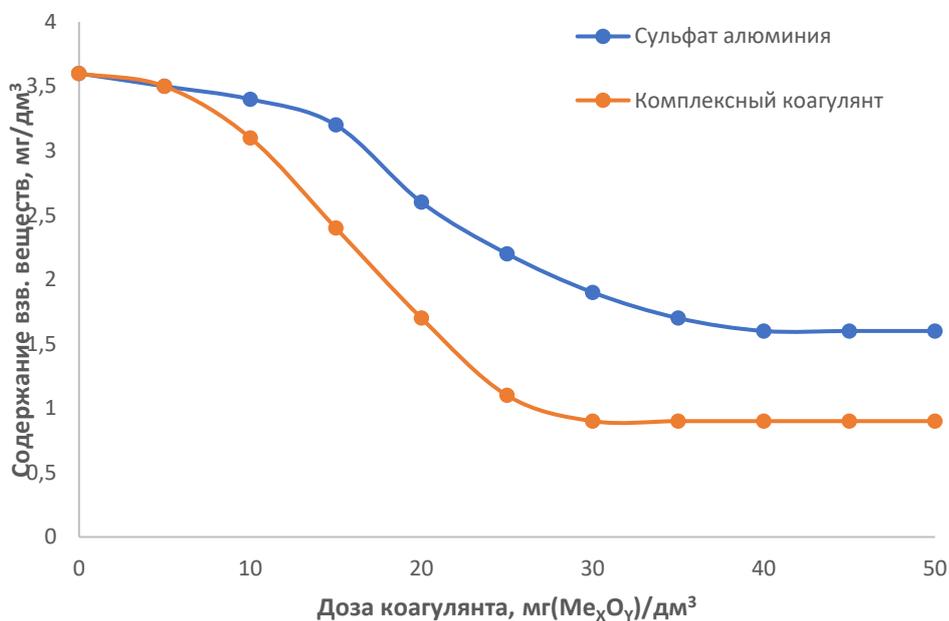


Рисунок 2. Изменение концентрации нефтепродуктов в зависимости от типа и дозы применяемого коагулянта

Данные представленные на графике 2 демонстрируют, что в отношении нефтепродуктов комплексный титансодержащий реагент также существенно превосходит сульфат алюминия, при этом осадочная концентрация нефтепродуктов в случае использования титансодержащего коагулянта была почти в 2 раза ниже (0,9 мг/дм³, против 1,6 мг/дм³). Повышенная эффективность комплексного реагента обусловлена процессами поликонденсации продуктов гидролиза соединений титана (флокуляцией), а также явлениями сорбции и зародышеобразования (нейтрализация поверхностного заряда) [6].

Образующиеся при использовании различных коагулянтов шламы существенно различались по скорости оседания. Так время полного оседания шламов, полученных при использовании комплексного сульфатно-хлоридного титансодержащего реагента составило 6 минут, в то время как шламы, полученные при использовании традиционного сульфата алюминия оседали более 10 минут.

Выводы

Полученные в рамках проделанной работы данные свидетельствуют о высокой перспективности комплексных титансодержащих коагулянтов в процессах очистки атмосферных (ливневых) сточных вод. Применение комплексного реагента позволило не только минимизировать остаточные концентрации загрязняющих веществ, но и повысить скорость седиментации коагуляционного шлама, что в свою очередь позволит повысить производительность и эффективность работы очистных сооружений и сократить их габариты.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.т.н., заведующему кафедрой промышленной экологии Российского химико-технологического университета им Д. И. Менделеева Кручининой Наталии Евгеньевне.

Библиография

1. Гордиенко М. Г., Кручинина Н. Е., Кузин Е. Н., Войновский А. А. Оптимизация процесса получения отвержденных форм алюмокремниевого флокулянта-коагулянта для применения в очистке сточных вод // Безопасность в техносфере. 2012. Т. 1, № 4. С. 21-25.
2. Измайлова Н. Л., Лоренцсон А. В., Чернобережский Ю. М. Композиционный коагулянт на основе титанилсульфата и сульфата алюминия // Журнал прикладной химии. 2015. Том 88. Вып. 3. – С. 453-457
3. Кузин Е. Н. Титансодержащие коагулянты в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4(84). С. 16–23.
4. Potential of titanium coagulants for water and wastewater treatment: Current status and future perspectives. / Y. Gan, J. Li, Z. Li [et al.] // Chemical Engineering Journal. 2021. №126837.
5. Preparation and characterization of titanium dioxide (TiO₂) from sludge produced by TiCl₄ flocculation with FeCl₃, Al₂(SO₄)₃ and Ca(OH)₂ coagulant aids in wastewater / H. Shon, S. Vigneswaran, J. Kandasamy [et al.] // Sep. Sci. Technol. 2009. V. 44. P. 1525–1543.
6. Preparation of Titanium Dioxide (TiO₂) from Sludge Produced by Titanium Tetrachloride (TiCl₄) Flocculation of Wastewater/ H. Shon, S. Vigneswaran, I. S. Kim // Environ. Sci. Technol. 2007. V. 41. P. 1372-1377.

*Перспективы внедрения инновационного метода удаления фосфора из возвратных потоков
сточных вод с получением минерала струвита*

Лунатов В. С. (РУДН, vitalylipatov@mail.ru),
Ружницкая О. А. (РУДН, ruzhitskaya_oa@rudn.ru)*

Аннотация

В данном докладе приведена информация о передовом методе удаления фосфора в процессе работы очистных сооружений. Рассматривается конкретная методика физико-химической очистки возвратных потоков очистных сооружений, содержащих высокие концентрации азота и фосфора с последующим получением минерала струвита в качестве продукта. Оценивается экологический и экономический потенциал внедрения данной технологии на очистные сооружения с различными вариациями производительности. Проводится анализ перспективы применения струвита в качестве удобрения.

Ключевые слова

Очистка сточных вод, удаление фосфора, инновационные методы очистки, струвит, удобрение.

Теория

В современном мире, где технологический прогресс сопровождается массой экологических вызовов, роль передовых методов обработки и очистки сточных вод становится критически важной. Особое внимание уделяется развитию и применению технологий для эффективного удаления азотных и фосфорных соединений сточных вод.

Понимание основ очистки сточных вод является предпосылкой к освоению новых методов. Задача очистных сооружений заключается в удалении и/или трансформации сточных вод, загрязненных промышленными, аграрными и бытовыми отходами, в воду, пригодную для возврата в окружающую среду или для применения в различных целях. В классическом варианте процесс очистки включает в себя физические, биологические и химические этапы, каждый из которых нацелен на устранение определенных видов загрязнений.

Однако, существуют сложности, связанные с такими специфическими загрязнителями, как соединения азота и фосфора, присутствующие в сточных водах в высоких концентрациях. Эти элементы могут стать причиной серьезных экологических проблем, главная из которых эвтрофикация, которая несет за собой снижение биоразнообразия и нарушение экологического равновесия. Традиционные методы очистки зачастую не способны в достаточной степени удалять эти загрязнители, что подчеркивает важность поиска новых решений. По данным на конец 2019 года только 11% сточных вод в России очищаются требуемых показателей [2]. Вследствие этого, новые и инновационные методы и технологии, ориентированные на глубокую очистку от определенных веществ, в частности фосфора должны изучаться и внедряться в очистные сооружения.

Отдельное внимание, на фоне предлагаемых в мире методов по удалению фосфора из сточных вод, стоит уделить одному из методов доочистки, который можно включить в технологический процесс многих очистных сооружений. Данный физико-химический процесс предполагает внедрение технологической линии, в которой возвратный поток и/или иловые воды после илоуплотнителя или цеха ЦМО отправляются в специализированный реактор, где вследствие реакции стока с высокими концентрациями Аммоний-ионов и фосфора-фосфатов с реагентом в виде хлористого магния ($MgCl_2$) образуется и осаждается минерал струвит $Mg[NH_4PO_4] \cdot 6H_2O$ [3,4,6]. Минерал достаточно давно известен, так как естественным образом медленно скапливается в трубопроводах канализационных очистных сооружений. Но его промышленное и контролируемое получение является эффективным способом удаления азота и

фосфора из сточной воды с высокими концентрациями загрязнителей. Метод получения струвита обладает большим преимуществом на фоне других методов очистки стоков. Полученный минерал может быть использован в сельском хозяйстве в качестве удобрения, имея в составе ключевые элементы для роста растений в виде азота и фосфора, а также магний, который является важным микроэлементом для роста плодов растений.

Струвит образуется в ходе следующей реакции:



В период написания доклада автор работает над рядом научных работ, связанных со струвитом, его получением и физико-химическими свойствами. Из модульных растворов, которые имитируют фугат очистных сооружений (содержание фосфора фосфатов ≈ 250 мг/л, и азот аммонийный ≈ 800 мг/л, более точное определение концентраций затруднительно из-за технических ограничений проведения опытов), был получен струвит с размером фракции 1–1,5 мм и процентным содержанием фосфора в составе на уровне 15%, азота на уровне 12% и магния на уровне 18%. Так как струвит является кристаллогидратом, большую часть массы струвита занимает вода, в данном случае порядка 30–35% массы. Предполагается, что высокое содержание магния в составе обусловлено присутствием других соединений магния в составе струвита, образовавшихся в качестве побочных продуктов. Порядка 20% состава минерала представляют сторонние примеси.



Рисунок 1. Внешний вид минерала струвита, полученного в ходе экспериментов с модульным раствором

В качестве источника магния, был использован минерал бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Минерал был добыт открытым способом из соленого озера и обладает чистотой по паспорту в 94% с различными примесями других минералов, что обуславливает относительно низкую чистоту полученного струвита. Размер фракции бишофита 1–4 мм.

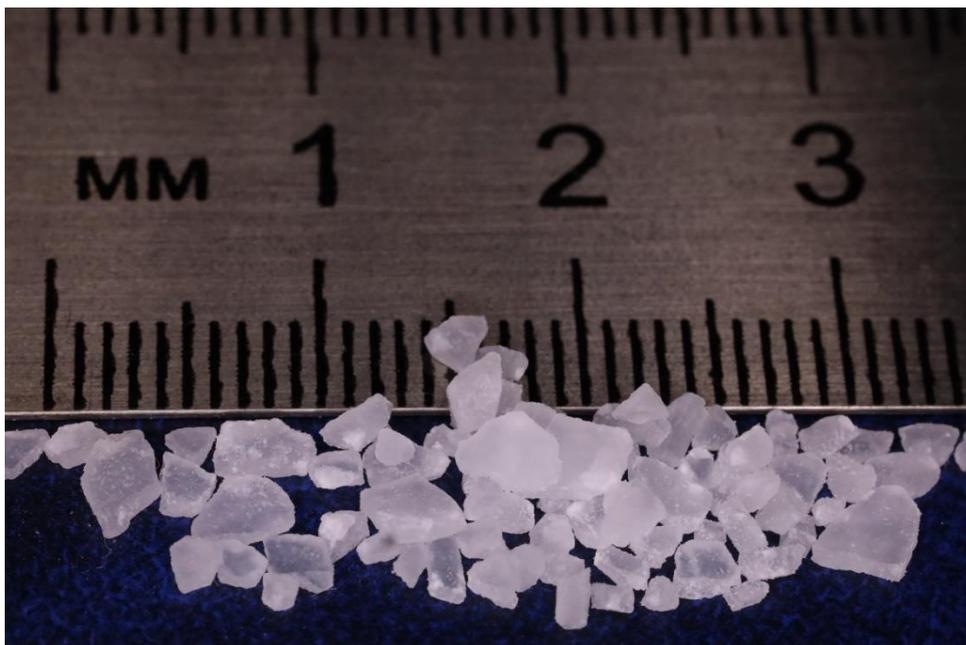
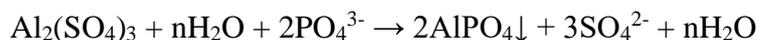


Рисунок 2. Внешний вид минерала бишофита, использованного в ходе экспериментов в качестве источника магния

Процесс получения струвита с химической точки зрения выглядит следующим образом: сточная вода с высокими концентрациями азотных и фосфорных соединений, проходит первичную подготовку, так как требуется контроль pH среды в районе 7–8 единиц, что является оптимальными условиями для образования струвита. Для этого добавляется щелочь или кислота в зависимости от предъявляемых требований. Далее дозируется хлорид магния, в количестве эквивалентному среднему арифметическому по концентрациям азотных и фосфорных соединений для достижения эквимольного соотношения в растворе. Образование кристаллов происходит достаточно медленно, порядка 3–5 часов. Раствор требует постоянного перемешивания, в противном случае будет выпадать осадок и процесс кристаллообразования будет останавливаться.

На сегодняшний день в широкой практике при очистке сточных вод от соединений фосфора применяются различные соли железа (Fe) и алюминия (Al), такие как: Хлорид железа (FeCl_3) и Сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) [1]. Данные вещества выступают в качестве коагулянтов, но образующийся осадок требует специальной утилизации, что вносит ряд ограничений при использовании метода. Также сами реагенты требуют особых условий хранения и приготовления, представляя химическую опасность для здоровья человека.



(2)

(Реакция удаления фосфора при помощи сульфата алюминия)

Согласно исследованиям, получение и применение струвита является экологически устойчивым процессом [5], так как в процессе производства требуется хлорид магния, который не опасен для человека и природы. Высокие концентрации ионов магния и хлора в воде, в том числе в питьевой является нормальным явлением. Поэтому применение такого реагента как хлорид магния не несет в себе опасности вторичного загрязнения стока при очистке сточных вод.

Струвит является эффективным удобрением с важным отличающим его от других удобрений свойством, которое заключено в малой растворимости струвита в воде. Это позволяет

ему находится на засеянном поле на протяжении всего промежутка роста агрокультуры и постепенно с дождями или поливами высвобождают азот, фосфор и магний в почву для подкормки растений.

На сегодняшний день, на рынке представлены несколько технологических решений для получения струвита из сточных вод с добавлением хлорида магния, но ни одно из них до сих пор не было внедрено в России в промышленных масштабах. Мосводоканал проводит изучение и пилотирование различных зарубежных установок, но о полномасштабном внедрении на данный момент дискуссий не ведется.

Выводы

Получение струвита из сточных вод является перспективной технологией, имеющей высокий потенциал. Экономические и экологические параметры позволяют делать выводы о целесообразности внедрения данной технологии в очистные сооружения в России.

Библиография

1. Колова А.Ф. Реагентное удаление фосфатов из сливных вод / Пазенко Т.Я. // Строительство и архитектура Сибирский федеральный университет. - №10 (81). - 2013. - С. 161-163.
2. Спецпроект устойчивые города // РБК +1 URL: <https://plus-one.rbc.ru/ecology/tolko-11-stochnyh-vod-v-rossii-ochishchayut-do-neobhodimyh-predelov> (дата обращения: 11.03.2024).
3. Advances in Struvite Precipitation Technologies for Nutrients Removal and Recovery from Aqueous Waste and Wastewater / Alessio Siciliano, Carlo Limonti, Giulia Maria Curcio, Raffaele Molinari // Sustainability. - вып. 12. - 2020.
4. Marcos von S. Biological Wastewater Treatment Series Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. - №1. - Brazil : IWA Publishing, 2007. - 304 с. - ISBN: 1-84339-161-9.
5. Struvite as a Sustainable Fertilizer in Mediterranean Soils/ Ana Pérez-Piqueres, Ana Quiñones, Marta Ribó // Agronomy. - №13(5). - 2023.
6. Weiran C., Yi S. Recovery of Phosphorus in Wastewater in the Form of Polyphosphates: A Review // Processes . - 2022. - №7

***Очистка сточных вод от синтетических красителей с помощью пероксодисерной
кислоты на примере фуксина***

***Любушкин Т.Г.* (РХТУ им. Д. И. Менделеева, timlub2000@gmail.com),
Пономарева Е.А. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, lena.ponomaryova.01@mail.ru),
Иванов А.А. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, anton.blackwolfneo@gmail.com),
Кузин Е.Н. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, kuzin.e.n@muctr.ru)***

Аннотация

В рамках работы была проведена оценка возможности применения пероксодисерной кислоты ($H_2S_2O_8$) для очистки сточных вод, загрязненных синтетическими красителями. В качестве модельного загрязняющего вещества был использован фуксин ($C_{20}H_{20}N_3Cl$).

В ходе исследования установлено, что обесцвечивание модельных растворов наиболее эффективно протекает при низких значениях pH 2. Для активации пероксодисерной кислоты применялся раствор двухвалентного железа (Fe^{2+}), доза которого составляла 2 мг/мг красителя. Оптимальная доза окислителя необходимая для максимальной степени деструкции (более 85 %) составила 10 мг/мг красителя, при минимальном времени контакта «окислитель-сточная вода» не менее 30 минут.

Ключевые слова

Пероксодисерная кислота, сточные воды, синтетические красители, окисление.

Теория

Сточные воды, загрязненные синтетическими красителями, представляют собой серьезную экологическую проблему. Особую важность проблеме придает тот факт, что объемы производства синтетических красителей ежегодно возрастают, а на их долю приходится более 70% от всех применяемых колорирующих агентов [1].

Синтетические красители устойчивы в окружающей среде и обладают способностью к биоаккумуляции, а основной негативный эффект обусловлен снижением концентрации растворенного кислорода и препятствием прохождению солнечного света, что в свою очередь может приводить к выходу экосистемы из гомеостаза [2]. Сильное антропогенное воздействие на окружающую среду, повсеместное применение красящих веществ и ужесточение природоохранных нормативов обуславливают актуальность усовершенствования имеющихся и разработку новых методов очистки сточных вод, данного направления промышленности.

Одним из традиционных методов очистки окрашенных сточных вод является окисление. Традиционно-используемые окислители (O_3 , Cl_2 , ClO^- и т.д.), несмотря на свою высокую эффективность, обладают рядом недостатков и ограничений. К этим недостаткам могут быть отнесены высокие реагентные и операционные затраты, энергоемкость, сложность аппаратного оформления, возможность образования более токсичных полупродуктов окисления [3].

Пероксодисерная кислота ($H_2S_2O_8$) считается весьма перспективным реагентом для окисления загрязняющих веществ в сточных водах. Простота применения, низкая стоимость производства, ярко выраженные окислительные свойства – вот основные преимущества пероксодисерной кислоты, как реагента-окислителя.

Основной целью данной работы является оценка возможности применения пероксодисерной кислоты для очистки модельной сточной воды, содержащей синтетический краситель.

Материалы и методы исследования

Эксперименты по очистке воды проводили с использованием модельных сточных вод, а в качестве органического поллютанта применяли фуксин. Концентрации фуксина до и после

проведения процесса окисления определялись фотометрическим методом. Для проведения окисления использовалась пероксодисерная кислота, получаемая электрохимическим окислением растворов серной кислоты на кафедре технологии неорганических веществ и электрохимических процессов в РХТУ им. Д. И. Менделеева. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

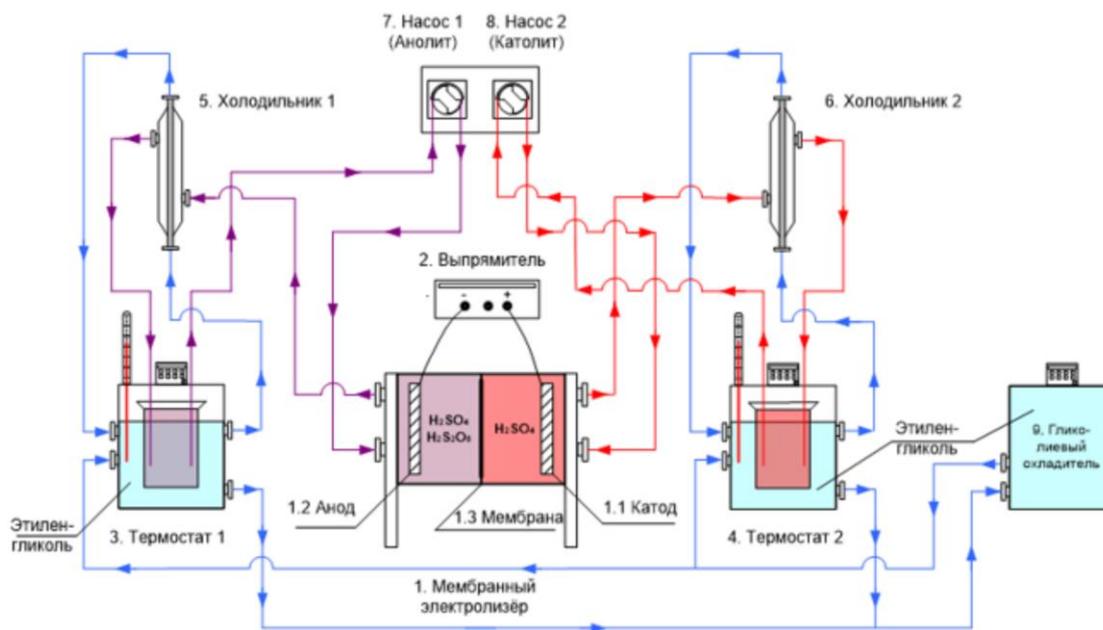
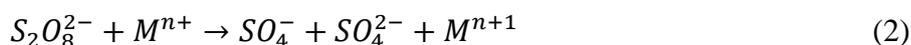


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для получения пероксодисерной кислоты методом электролиза [4]

Согласно литературным данным окислительная способность $H_2S_2O_8$ значительно увеличивается при активации вследствие образования сульфат-радикалов ($SO_4^{\cdot-}$) [5]. Образование сульфат-радикалов протекает согласно реакциям 1, 2.



Для активации могут быть использованы ультрафиолет, ультразвук, нагревание, электрический ток, а также использование катализаторов на основе соединений переходных металлов. В данном исследовании для активации пероксодисерной кислоты применялся раствор двухвалентного железа, так как этот реагент наиболее распространен и уже давно успешно применяется в качестве компонента Фентон-системы [6-8].

Доза железа (II) в каждом проведенном опыте составила 2 мг/мг загрязняющего вещества (далее мг/мг). Начальная концентрация фуксина в модельном растворе составляла 3 мг/л. Эффективность удаления фуксина определялась исходя из измеренных концентраций до начала очистки и после завершения процесса. Окисление проводили при непрерывном перемешивании в течение 30 минут.

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенного эксперимента по окислению модельного раствора фуксина представлены на рисунке 2.

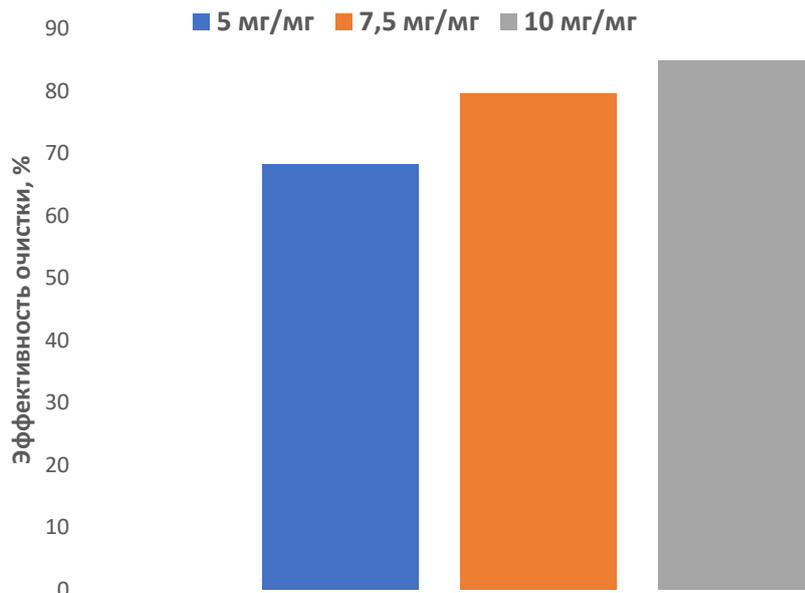


Рисунок 2. Эффективность удаления фуксина из модельного раствора с помощью перексодисерной кислоты

Из представленных данных видно, что максимальное удаление фуксина из модельного раствора составляет 85 % и достигается при дозе перексодисерной кислоты 10 мг/мг. Дальнейшее увеличение дозы окислителя незначительно увеличивает эффективность процесса и приводит к существенному перерасходу окислителя и вторичному загрязнению воды сульфат-анионами.

Данное явление может быть объяснено протеканием побочных процессов между $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ и Fe^{2+} . Отмечено, что добавка железа к реакционной смеси значительно интенсифицирует процесс и повышает его эффективность, что свидетельствует о протекании активации перексодисерной кислоты. Увеличение времени проведения реакции при заданных условиях не приводит к возрастанию эффективности.

Выводы

Результаты исследования показывают, что перексодисерная кислота может быть эффективно использована для очистки сточных вод, содержащих синтетические красители.

Полученные данные позволяют выдвинуть предположения о возможности использования перексодисерной кислоты для очистки сточных вод сложного состава, от органических поллютантов с низкой биоразлагаемостью или высокой токсичностью. В качестве потенциальных объектов применения можно выделить сточные воды нефтеперерабатывающей, фармацевтической, типографической, текстильной и других отраслей промышленности.

Дальнейшее изучение свойств перексодисерной кислоты и способов ее применения позволит значительно расширить сферу потенциального применения реагента в процессах очистки сточных вод.

Благодарности

Авторы выражают благодарность научному руководителю, к.т.н., доценту кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева – Кузину Евгению Николаевичу, а также сотрудникам кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д. И. Менделеева за предоставление образцов перексодисерной кислоты для проведения исследования.

Библиография

1. Adesanmi B. M. et al. Comparison of dye wastewater treatment methods: A review //GSC Advanced Research and Reviews, 10 (2). – 2022. – V. 10. – №. 2. – P. 126-137.
2. Singha K. et al. Harmful environmental effects for textile chemical dyeing practice //Green Chemistry for Sustainable Textiles. – Woodhead Publishing, 2021. – P. 153-164.
3. Völker J. et al. Systematic review of toxicity removal by advanced wastewater treatment technologies via ozonation and activated carbon //Environmental Science & Technology. – 2019. – V. 53. – №. 13. – P. 7215-7233.
4. Разработка современной электрохимической технологии получения концентрированного пероксида водорода высокой чистоты / А. В. Колесников, М. В. Абакумов, В. А. Бродский [и др.] // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2022. – С. 40-44.
5. Deng Y., Zhao R. Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment //Current Pollution Reports. – 2015. – V. 1. – P. 167-176.
6. Sarantseva A. A, Ivantsova N. A, Kuzin E. N. Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions // Russian Journal of General Chemistry, 2023, Vol. 93, No. 13, pp. 1–6
7. Kuznetsov V.V.; Ivantsova N. A.; Kuzin, E. N.; Pirogov A.V.; Mezhev Y. O.; Filatova E. A.; Averina Y. M. Study of the Process of Electrochemical Oxidation of Active Pharmaceutical Substances on the Example of Nitrofurazone ((2E)-2-[(5-Nitro-2-furyl)methylene]hydrazine Carboxamide) // Water. 2023. 15. 3370.
8. Emzhina V.V., Kuzin E. N., Babusenko E S., Krutchinina N. E. Photodegradation of tetracycline in presence of H₂O₂ and metal oxide based catalysts // Journal of Water Process Engineering 2021. V. 39 101696,

***Снижение уровня подземных вод и его последствия в городе Кабул (Афганистан)
Назари А. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, aref.nazary41@gmail.com),
Черепанский М.М. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, vodamch@mail.ru)***

Аннотация

Изучение режима подземных вод очень важно для лучшего управления водными ресурсом. В городах с засушливым климатом, таких как Кабул (Афганистан), единственным доступным источником питьевой воды и сельского хозяйства являются в основном подземные воды.

Развитие урбанизации и рост спроса на воду привели к увеличению добычи подземных вод в городе Кабул, в результате чего уровень подземных вод снизился в среднем на 30 метров с 2007 по 2022 год, что, исходя из проведенных исследований, под влиянием этого процесса привело к проседанию земной поверхности на 5,3 см в год. В данном исследовании темпы снижения уровня подземных вод в городе Кабул определены на основе данных мониторинговых скважин. Результаты показывают осушение водоносного горизонта в северной части города Кабул и прямую связь между оседанием поверхности земли и понижением уровня подземных вод.

Ключевые слова

Снижение уровня подземных вод, развитие урбанизации, оседание грунта, город Кабул.

Теория

Город Кабул расположен в Кабульском геологическом блоке, представляющем собой осадочную область, заполненную отложениями, принадлежащими различным геологическим периодам (Faryad, et al., 2016). Геологические условия Кабул разделены на три геологические единицы; Четвертичные отложения, третичный и горные породы ((JICA), 2011). Согласно геологической карте Геологической службы США, горные породы в районе Кабула и вокруг него состоит из докембрийских, палеозойских и мезозойских пород (Bohannon, 2010). Кабульский геологическом блок представляет собой, впадины грабеновой структуры заполненные четвертичными и неогеновыми отложениями. Мощность четвертичных отложений в среднем составляет около 80 метров, а в центральных частях равнины может достигать 200 метров и более (Böckh, 1970). Неогеновые отложения подразделяются на верхнеогеновые (N2) и нижнеогеновые (N1) формации. На рисунке 1 геологическая карта исследуемой территории подготовлена на основе данных Геологической службы США.

На Кабульской равнине в период с 1977 по 2005 год DACAAR и другими неправительственными организациями было пробурено порядка 1500 глубоких скважин со средней глубиной 22 метра. Большинство из этих скважин в настоящее время пересохло (Omid, et al., 2018). Мощность верхнего четвертичного водоносного горизонта на Кабульской равнине варьируется от 0,1 до 94 метров, мощность верхнего неогена (N2) от 0,1 до 377 метров и глубокого водоносного горизонта нижнего неогена (N1) от 0,1 до 723 метров (Landell Mills, 2020).

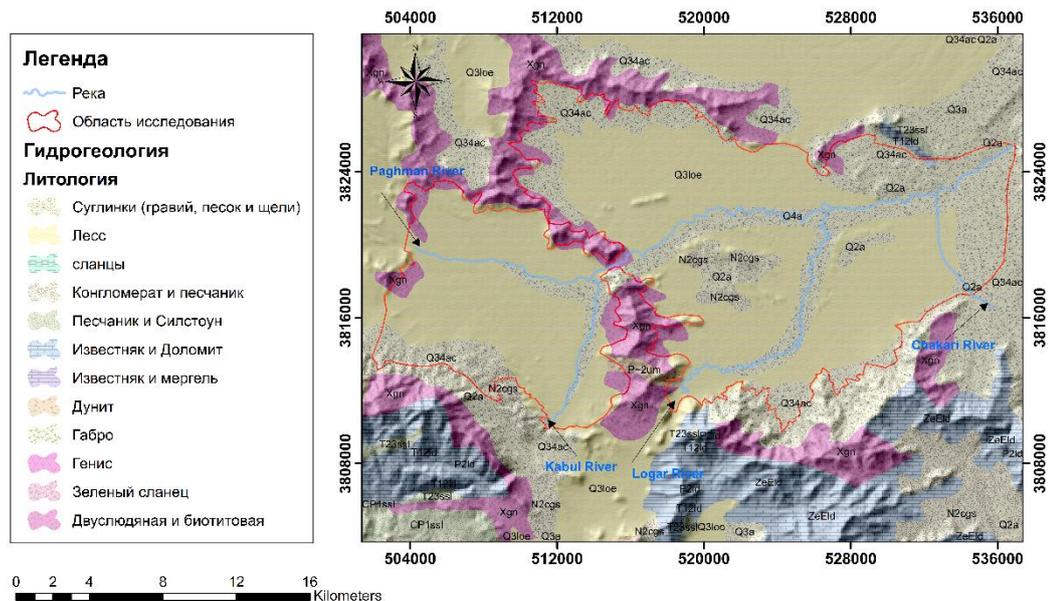


Рисунок 1. Геологическая карта района исследований

Снижение уровня подземных вод

Подземные воды — единственный источник питьевой воды в городе Кабул (Noori & Singh, 2021). С развитием урбанизации в городе Кабул с 2001 по 2020 годы сельскохозяйственные площади на его территории, через которые осадки проникли в уровень грунтовых вод, сократились на 32 процента, а из-за беспорядочного забора из водоносных горизонтов, уровень подземных вод снижался на 0,8 м в год. Одним из основных факторов снижения уровня подземных вод является их большая добыча скважинами и колодцами на территории города.

В этом исследовании для определения скорости снижения уровня подземных вод были использованы данные 104 мониторинговых скважин, собираемые ежемесячно Министерством энергетики и водных ресурсов Афганистана. Указанные данные были проанализированы с помощью программы АРСГИС и составлена карта снижения уровня грунтовых вод в городе Кабул. Результаты указанной карты сопоставлены с результатами оседания поверхности суши и на основании этого была определена связь между понижением уровня подземных вод и просадкой. Кроме того, результаты сравнивались с мощностью водоносного горизонта, позволившие определить участки осушения водоносных горизонтов.

Выводы

Результаты показывают, что с 2007 по 2022 год уровень воды больше всего снизился на западе и севере Кабула, так что снижение уровня подземных вод (дельта УПВ) на севере Кабула было измерено до 65 метров, а на западе Кабула - до 50 метров. Карта снижения уровня подземных вод представлена на рисунке 2 .

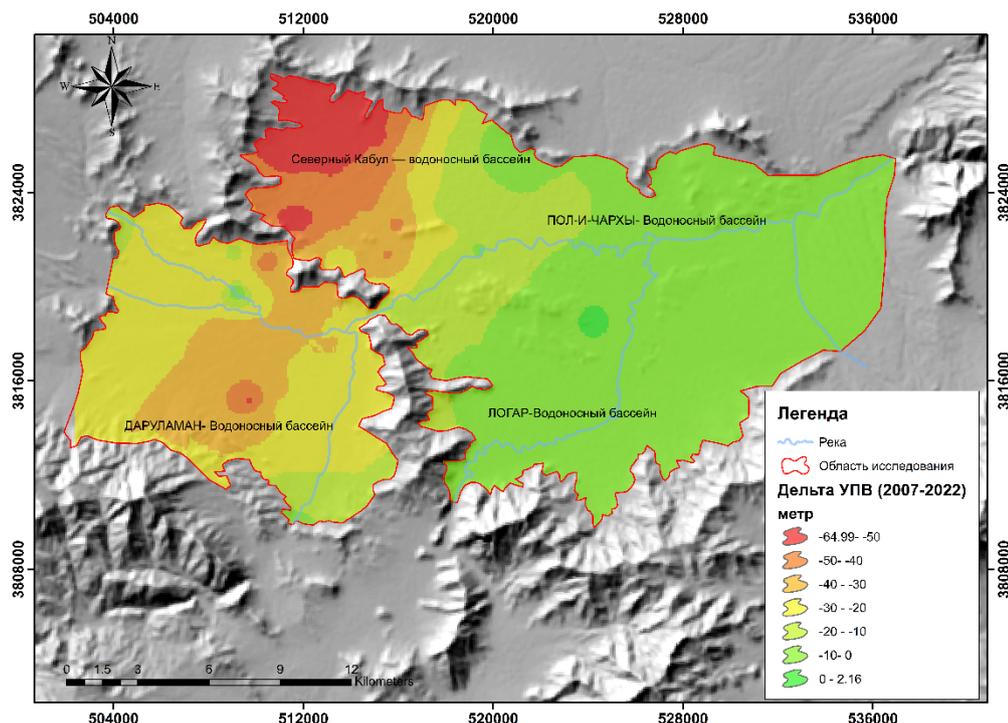


Рисунок 2. Карта снижения уровня подземных вод

Результаты исследований показывают, что в районах, удаленных от реки Кабул, наблюдается большее снижение уровня подземных вод. В водоносных бассейнах Логар и Пули-Чархи, где уровень воды в река Кабул постоянный, величина падения уровня подземных вод незначительна, а на некоторых участках вблизи реки уровень подземных вод повысился.

Согласно полученным цифрам и результатам, темпы снижения уровня подземных вод на Кабульской равнине оцениваются в среднем 2 метра в год.

Понижение уровня грунтовых вод из-за чрезмерного забора воды также привело к оседанию поверхности земли в городе Кабул, где согласно методам дистанционного зондирования, максимальное оседание поверхности земли в городе Кабул составляет -5,3 см/год. Это наблюдается в верхней части Кабула (Meldebekova, et al., 2020).

Библиография

1. BGR, I. f. G. a. N. R., 2005. Hydrogeology of the Kabul Basin Part I: Geology aquifer characteristics, climate and hydrography, Germany: BGR.
2. Böckh, E., 1970. Report on the groundwater resources of the city of Kabul,
3. Bohannon, R. G., 2010. Geologic and topographic maps of the Kabul South 30' * 60' quadrangle, Afghanistan. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3137 7, pamphlet, 2 map, sheets, scale 1: 100,000, 34 pp: USGS.
4. Faryad, W. S. et al., 2016. The Kabul Block (Afghanistan), a segment of the Columbia Supercontinent, with a Neoproterozoic metamorphic overprint. Gondwana Research.
5. JICA, J. I. C. A., 2011. THE STUDY ON GROUNDWATER RESOURCES POTENTIAL IN KABUL BASIN IN THE ISLAMIC REPUBLIC OF AFGHANISTAN, Kabul: JICA.
6. Hamidi, M. D., Grocke, D. R. & Joshi, S. K., 2023. Investigating groundwater recharge using hydrogen and oxygen stable isotopes in Kabul city, a semi-arid region. Journal of Hydrology, Volume 626, p. 5.

7. Kumar, C. P., 2014. Assessment of Ground Water Potential. National Institute of Hydrology, p. 3.
8. Landell Mills, 2020. The Feasibility of Scaling-up Managed Aquifer Recharge (MAR) Technology in Kabul City (Regional Groundwater Model), s.l.: Landell Mills.
9. Meldebekova, G., Chen, Y., Li, Z. & Song, C., 2020. Quantifying Ground Subsidence Associated with Aquifer Overexploitation Using Space-Borne Radar Interferometry in Kabul, Afghanistan. Remote Sensing, 12(15), p. 1.
10. Omid, S. M., Tsutsumi, J.-i. G., Nakamatsu, R. & Hasanyar, M. H., 2018. ASSESSMENT OF GROUNDWATER LEVEL TO IMPROVE WATER RESOURCE IN KABUL CITY, AFGHANISTAN. International Journal of Technical
11. Zaryab, A., Nassery, H. R. & Ali, F., 2022. The effects of urbanization on the groundwater system of the Kabul shallow aquifers, Afghanistan. Hydrogeology Journal, Volume 30, p. 1.

***Влияние молекулы пуллулана на процесс флокуляции водной дисперсии бентонита и
гуминовых кислот катионными полиэлектролитами***

***Носова Т.И.* (РХТУ им. Д. И. Менделеева, nti16041998@gmail.com),
Нишучкова М. А. (РХТУ имени Д.И. Менделеева, nishuchonokmasha@mail.ru)***

Аннотация

В рамках исследования доказан высокий потенциал использования добавки биоразлагаемого полисахарида – пуллулана для повышения эффективности осветления суспензии бентонита и гуминовых кислот катионным полиэлектролитом полидиаллилдиметиламмоний хлоридом (полиДАДМАХом). Установлено, что использование добавки полисахарида позволяет снизить содержание полиДАДМАХа в полиэлектролите на 5% масс., при этом добавка пуллулана составила 1% масс. Введение молекулы полисахарида позволит снизить расход синтетического полидиаллилдиметиламмоний хлорида, а также его вредное воздействие на окружающую среду. Эффективность осветления водной дисперсии бентонита и гуминовых кислот модифицированным полиэлектролитом достигала: для взвешенных частиц 93%; для мелкодисперсных примесей 82%.

Ключевые слова

Флокуляция, бентонит, гуминовые кислоты, пуллулан, полидиаллилдиметиламмоний хлорид.

Теория

Ежегодное ужесточение требований к экологической безопасности производств, бурное развитие промышленности, укрупнение городов и рост численности населения определяют высокий интерес к решению проблемы, связанной с загрязнением окружающей среды бытовыми и сточными водами. Технологическая схема очистки загрязненных СВ обычно включает физико-химическую стадию, основанную на агрегации частиц дисперсной фазы с помощью специализированных химических соединений (коагулянтов/флокулянтов) и предназначенную для удаления из воды взвешенных, коллоидных и тонкодисперсных примесей [1-3].

Сегодня актуальным является применение нескольких традиционных групп органических реагентов для решения вышеуказанной задачи, а именно синтетических флокулянтов на основе полиакриламида и акриловой кислоты, а также органических полиэлектролитов, представленных полимером диаллилдиметиламмоний хлорида (далее полиДАДМАХ). Полимерные флокулянты имеют ряд существенных преимуществ в сравнении с неорганическими коагулянтами на основе хлорида железа и сульфата алюминия, а именно низкую рабочую концентрацию реагента, отсутствие вторичного загрязнения и возможность очистки сточных вод в широком диапазоне pH. Однако устойчивость к биологической деструкции, токсичность и канцерогенность, обусловленные присутствием остаточного количества неполимеризованного акриламида или мономера ДАДМАХа ограничивают применение синтетических флокулянтов в пищевой промышленности, биотехнологии, фармации и других отраслях, где они могут представлять прямую угрозу здоровью и жизни человека.

Вместе с тем хорошей альтернативой реагентов-флокулянтов для процессов водоподготовки могут стать природные полисахариды (хитин, хитозан крахмал). Широкая распространенность в природе, доступность и уникальные структурные особенности позволяют предположить возможность их использования в процессах водоподготовки в качестве флокулянтов [4].

Поиск альтернативных полисахаридов для интенсификации флокуляционных свойств синтетических полимеров и повышения их биоразлагаемости является наиболее актуальной темой для исследований. В связи с чем, целью данной работы было изучение влияния добавки

молекулы пуллулана к катионному полидиаллилдиметиламмоний хлориду и оценка эффективности очистки модельной воды от дисперсии бентонита и гуминовых кислот с использованием свежесинтезированных реагентов.

Объектом исследования являлся раствор модифицированного катионного полиэлектролита - полидиаллилдиметиламмоний хлорида (концентрация 35% мас.), полученного из мономера ДАДМАХа. Реакция полимеризации мономера протекала по свободнорадикальному механизму с использованием персульфатного инициатора.

С целью исследования полученного образца в качестве органического флокулянта был проведен стандартный «Jag -тест» на бентонитовой суспензии (pH = 7,93; T = 18,2⁰C). Модельная вода содержала бентонит в количестве 500 мг/дм³ и гуминовую кислоту в концентрации 50 мг/дм³. Рабочий раствор экспериментального образца полиэлектролита готовили с концентрацией 1,0 % масс. К подлежащей очистке пробе модельной воды (V_{пробы} = 400 см³) добавляли аликвоту рабочего раствора образца (от 1,0 до 10,0 мг/дм³). Пробы перемешивали при 200 об/мин в течение 45 секунд. Затем скорость вращения мешалки снижалась до 15 об/мин, чтобы добиться «созревания» хлопьев. Данная фаза длилась 60 секунд. Седиментацию образующихся «хлопьев» проводили в течение 180 секунд. Эффективность осветления модельной сточной воды определяли по остаточной цветности (в градусах по хромово-кобальтовой шкале) осветленного слоя и его мутности (в мг/дм³ по каолину) на фотоэлектрокалориметре в соответствии с ГОСТ Р 57164–2016. Полученные в ходе эксперимента результаты по эффективности удаления взвешенных грубодисперсных примесей бентонита и мелкодисперсных (коллоидных) частиц гуминовых кислот отражены на рисунке №1.

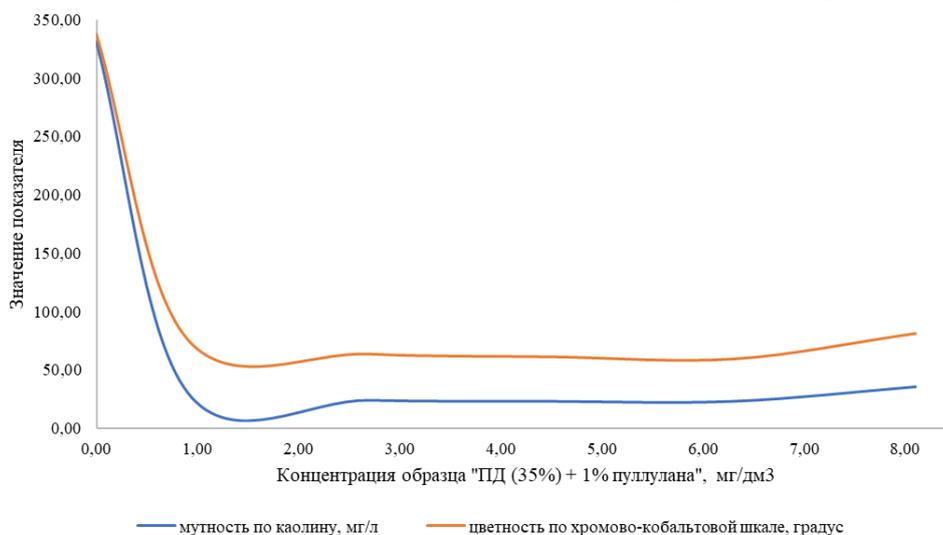


Рисунок 1. Зависимость показателей мутности и цветности осветленного слоя от концентрации катионного полиэлектролита

По данным рисунка №1 видно, что количество взвешенных частиц и цветность модельного стока уменьшаются с увеличением дозы модифицированного полисахаридом образца полиДАДМАХа. Причиной укрупнения коллоидов и грубодисперсных примесей является одновременное протекание двух процессов: адсорбции макромолекул полимера на отдельных участках частиц и нейтрализации отрицательного заряда поверхности положительно-заряженной аминогруппой. Протекание вышеуказанных процессов приводит к снижению электрокинетического потенциала поверхности частиц и потере агрегативной устойчивости [5]. Характерный пик на кривой процесса флокуляции (рис. №2) с последующим ухудшением эффективности полиэлектролита может быть связан как с явлением «перезарядки» поверхности,

за счет введения большого количества катионного полиэлектролита, так и с её адсорбционным насыщением, поскольку процесс хлопьеобразования частиц дисперсной фазы с адсорбированными молекулами флокулянта может проходить только при условии свободной поверхности частиц загрязнений, непокрытой полимером, в результате взаимодействия покрытых и непокрытых участков поверхности частиц [5].

На заключительном этапе исследования проводили сравнительный анализ полиэлектролита, модифицированного пуллуланом, с образцами: полиДАДМАХа с концентрацией 40% мас. (выпускаемая на рынке товарная форма), полученного при одинаковых условиях ведения процесса, а также зарубежным аналогом «FLOQUAT™ FL-4540» производства SNF (Франция). Результаты отражены на рисунке №2.

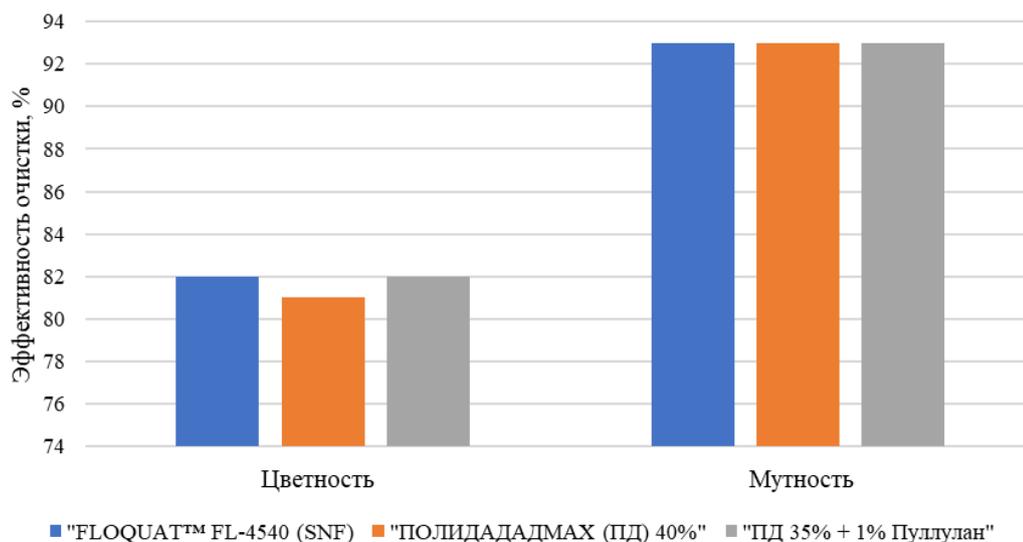


Рисунок 2. Сравнительная эффективность процесса очистки модельной сточной воды, содержащей бентонит и гуминовые вещества

Можно отметить, что эффективность удаления взвешенных частиц бентонита и цветности образца, модифицированного полисахаридом, полидиаллилдиметиламмоний хлорида находится на уровне с зарубежным аналогом «FLOQUAT™ FL-4540». Для всех исследуемых полиэлектролитов степень удаления цветности была ниже в сравнении с мутностью, что может быть обусловлено относительно низкой молекулярной массой полимеров, недостаточной для связывания тонкодисперсных коллоидов растворенных гуминовых кислот [6]. Однако, за счет добавления в структуру полиДАДМАХа разветвленной макромолекулы пуллулана, величина адсорбции на поверхности примесей была выше, чем у образца чистого полимера, что послужило определяющим фактором качества удаления цветности модельного стока.

Выводы

Из полученных данных следует, что введение в структуру катионного полиэлектролита на основе ДАДМАХа разветвленной макромолекулы пуллулана позволяет снизить количество полимера на 5% без ухудшения качества осветления модельной сточной воды. Таким образом, выявлен высоким потенциал использования природных полисахаридов в процессах водоочистки и водоподготовки, что может способствовать повышению биодеструкции синтетического полидиаллилдиметиламмонийхлорида и снижению токсичности его мономера для человека и окружающей среды.

Благодарности

Авторы выражают благодарность научному руководителю, к.т.н., доценту кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева – Кузину Евгению Николаевичу.

Библиография

1. Kuzin, E. N. Titanium-containing coagulants for foundry wastewater treatment / E. N. Kuzin, N. E. Kruchinina // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – Vol. 20. – P. 66-69
2. Гордиенко М. Г., Кузин Е. Н., Войновский А. А., Надеева Э. Н. Математические методы анализа в процессе оптимизации сушки алюмокремниевого флокулянта-коагулянта // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 1, № 2(64). – С. 176 -180
3. Гречаников А. В. и др. Водорастворимые полиэлектролиты–флокулянты в процессах водоподготовки //Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – №. 2 (19). – С. 107-111.
4. Братская С. Ю. и др. Полисахариды в процессах водоподготовки и переработки сточных вод различного состава //Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. – №. 5. – С. 47–56.
5. Гандурина Л. В. Очистка сточных вод с применением синтетических флокулянтов. Монография. М.: «ДАР/ВОДГЕО» 2007. - 198 с.
6. Гандурина Л. В., Фрог Б. Н., Маштакова Е. В. Применение органических коагулянтов для осветления мутных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 7. С. 11–16.

*Дефторирование сточных вод побочным продуктом переработки фосфогипса
Пересунько Ю. Д.* (ФГБОУ ВО «РХТУ им Д.И. Менделеева», yperesunko@mail.ru),
Азопков С. В. (ФГБОУ ВО «РХТУ им Д.И. Менделеева», sazopkov@muctr.ru)*

Аннотация

В работе рассмотрен наиболее перспективный способ переработки крупнотоннажного промышленного отхода производства экстракционной фосфорной кислоты – фосфогипса с получением крупнотоннажных продуктов - минерального удобрения сульфата аммония и фосфомела. Проведены исследования по применению побочного фосфомела в качестве реагента для очистки высокофтористых сточных вод. Установлено, что эффективность использования фосфомела в качестве реагента-осадителя фторид-аниона превышает 90%.

Ключевые слова

Фосфогипс, переработка, сульфат аммония, фосфомел, сточные воды, фториды.

Теория

В химической промышленности, специализирующихся на производстве минеральных удобрений, образуются огромные количества различных жидких и твердых отходов, требующих внедрения средозащитных мероприятий для их переработки или утилизации. Одним из ярких примеров подобных отходов является фосфогипс – отход производства экстракционной фосфорной кислоты, образующийся в результате сернокислотной обработки фосфорсодержащего сырья (апатитов, фосфоритов) по реакции 1:



Количество образующегося фосфогипса на 1 т готовой товарной продукции в пересчете на P_2O_5 (1,45 т H_3PO_4) варьируется в пределах 4,5-5,0 т, а содержание двухводного гипса составит 90-95%.

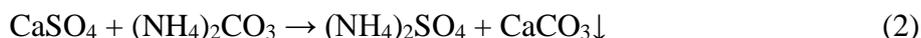
Ежегодно в России образуется более 15 млн т отходов фосфогипса, а по всему миру эта цифра уже достигает более 250 млн т в год [1]. В большинстве стран, специализирующихся на производстве фосфорной кислоты и удобрений, ввиду отсутствия внедренных технологий переработки фосфогипса, утилизация отхода осуществляется путем складирования на специальных полигонах. Общее количество накопленного в отвалах фосфогипса доходит 6-7 млрд т.

Огромные площади, отведенные под размещение фосфогипса, оказывают значительное негативное антропогенное влияние на окружающую среду. Основным негативным фактором процесса хранения фосфогипса является вымывание токсичных компонентов фосфогипса под действием атмосферных осадков, таяние снега в почвах, поверхностных и подземных источниках. К наиболее распространенным поллютантам, мигрирующих из фосфогипса в окружающую среду относятся соединения стронция, фтора, тяжелых металлов и радиоактивных элементов [2].

В настоящее время существуют некоторые направления утилизации/вторичного использования фосфогипса, среди которых:

- применение фосфогипса в строительстве в альтернативу природному при производстве гипсовых вяжущих изделий;
- применение в дорожном строительстве в качестве материала основания дорог;
- применение в качестве мелиоранта для сельскохозяйственных угодий;
- извлечение редкоземельных элементов и д.р.

Наиболее перспективным и экономически выгодным способом утилизации фосфогипса является его конверсия в сульфат аммония, который является ценным минеральным удобрением (реакция 2):



В раннее проведенных исследованиях [3] удалось достичь 81%-ой конверсии фосфогипса в сульфат аммония. В качестве побочного продукта образуется фосфомел, основным компонентом которого является карбонат кальция, имеющий определенный спрос в качестве сырьевого материала для цементной промышленности или в качестве реагента для нейтрализации кислых сточных вод [4-5].

Известно, что на предприятиях по производству фосфорной кислоты, металлического алюминия и др., в результате абсорбционной очистки газо-воздушных выбросов, образуются сточные воды с содержанием фторид-ионов более 10 г/дм³. В настоящее время очистка фторсодержащих сточных вод является актуальной проблемой.

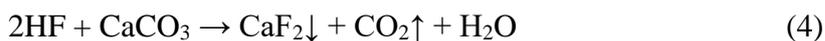
Традиционным и наиболее доступным методом дефторирования сточных вод является обработка 10 %-ой суспензией известкового молока с образованием малорастворимого осадка-фторида кальция в соответствии с реакцией 3:



Разработка и использование современных технологий очистки сточных вод, с целью ее возврата в оборотный технологический цикл, позволит не только сократить производственные расходы, но и снизить антропогенную нагрузку на водные объекты.

Ввиду этого в рамках данной работы была исследована возможность использования фосфомела в качестве альтернативного реагента для очистки высокофтористых сточных вод.

В качестве объекта исследования использовали реальную сточную воду с содержанием фторид-ионов 12 г/дм³. Количество вводимого осадителя (в виде фосфомела) фторид-ионов варьировали в соответствии с реакцией 4 от 0,7 до 1,1 (в пересчете на Ca/F).



Процессы дефторирования проводили на лабораторном флокуляторе JLT 4 (VELP Italy) в полимерных емкостях (для предотвращения образования SiF₄). Время контакта 10 минут при непрерывном перемешивании, стадия отстаивания – 30 минут. Осадок отделяли фильтрацией через бумажный фильтр «Синяя лента». В фильтрате определяли остаточное содержание фторид-ионов.

Содержание фторид-ионов определяли потенциометрически, с использованием ион-селективного электрода ЭЛИС-131F в соответствии с нормативным документом ПНД Ф 14.1:2:4.270-2012. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

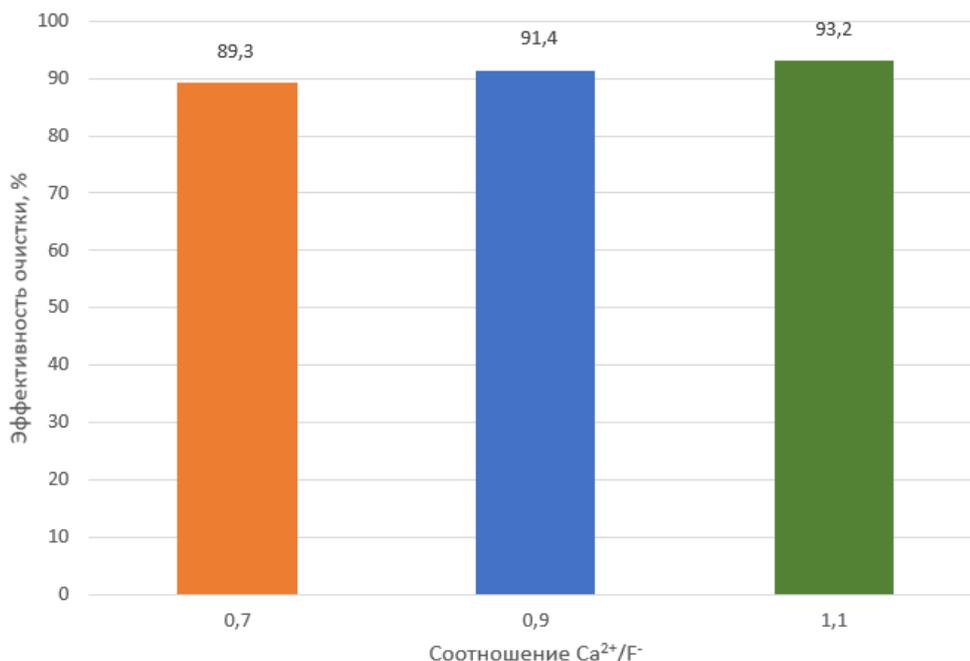


Рисунок 1. Эффективность очистки модельной воды в зависимости от количества внесенного фосфомела

Как видно из данных, представленных на рисунке 1, наибольшая эффективность очистки достигается при соотношении Ca²⁺/F⁻ равном 1,1 и составляет 93,2 %, при этом стоимость реагентов будет существенно ниже по сравнению с классическими реагентами (суспензиями гидроксидов кальция/магния).

К сожалению, применение фосфомела в процессе дефторирования сточных вод может быть ограничено ввиду вторичного загрязнения вод ионами аммония и сульфатов (примеси продуктов (NH₄)₂SO₄, образующегося по реакции 2).

Несмотря на высокую степень очистки, остаточная концентрация фторид-ионов по-прежнему остается высокой для возврата в технологический цикл производства, либо сброса в централизованную систему водоотведения, поэтому для повышения эффективности очистки необходимо введение дополнительной стадии очистки, с использованием коагуляционных методов [6-8].

Выводы

Проведена апробация возможности использования побочного продукта конверсии фосфогипса – фосфомела в качестве реагента для очистки фторсодержащих сточных вод.

Установлено, что использование фосфомела (отхода) в процессах очистки высокофтористых сточных вод позволят с эффективностью более 90 % удалять из воды фторид-анион, а также существенно снизить стоимость процесса.

Проработка альтернативных направлений использования, образующегося в значительных количествах фосфомела позволит повысить эффективность процесса переработки фосфогипса в целом и, как следствие, минимизировать объемы размещаемых на хранение отходов, что будет иметь ярко выраженный природоохранный эффект. Таким образом применение побочных продуктов производств в качестве реагента-осадителя позволит для ряда предприятий сделать шаг к реализации концепции «Zero Waste» и экономике замкнутого цикла.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры промышленной экологии Российского химико-технологического университета за помощь в проведении исследований.

Библиография

1. Некрасов Р. В. и др. Перспективы применения фосфогипса, как химического мелиоранта, в земледелии Российской Федерации //Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – №. 6. – С. 93-98.
2. Недбаев И. С., Цывкунова Н. В., Елсукова Е. Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса //Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – №. 4. – С. 10.
3. Пересунько Ю. Д. Азопков С. В. Переработка отхода производства экстракционной фосфорной кислоты методом высокоэффективного турбулентного смешения// Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXVII. – 2023. – С. 123-125.
4. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Комплексные коагулянты очистки сточных вод гальванического производства // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27, № 4. С. 43-49.
5. Кузин Е. Н., Фадеев А. Б., Кручинина Н. Е., Носова Т. И., Мискичекова З. К., Зайцева А, Д. Очистка кислотно-щелочных сточных вод гальванического производства с использованием инновационных реагентов. Гальванотехника и обработка поверхности. 2020. Т. 28, № 3. С. 37-44.
6. Кузин Е. Н. Получение отвержденных форм алюмокремниевого коагулянта и их использование в процессах водоочистки и водоподготовки / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Цветные металлы. - 2016. - №10.- С. 8-13.
7. Кузин Е. Н. Титансодержащие коагулянты в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4 (84). С. 16-23
8. Kuzin, E. N. Titanium-containing coagulants for foundry wastewater treatment / E. N. Kuzin, N. E. Kruchinina // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – Vol. 20. – P. 66-69.

***Новый подход к оценке сметной стоимости строительства систем и сооружений
водоснабжения и водоотведения***

***Соколов Л.И. (МГРИ, sokolovli@mgri.ru),
Петраш Е.П.* (МГРИ, petrashep@mgri.ru)***

Аннотация

Обоснована методология и представлен новый подход к оценке сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Приведены обновлённая формула прямых затрат, этапы и алгоритм расчёта сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Доказано, что ресурсно-индексный метод повышает точность и достоверность определения стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.

Ключевые слова

Сметная стоимость строительства, элементные строительные нормы, ресурсно-индексный метод, мониторинг цен строительных ресурсов, группа однородных строительных ресурсов.

Теория

Сметная стоимость строительства систем и сооружений ВиВ определяется с обязательным применением сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов (ФРСН), и сметных цен строительных ресурсов. Сметная стоимость строительства используется при формировании начальной (максимальной) цены контрактов, цены контрактов, заключаемых с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), предметом которых является выполнение работ в области строительства систем и сооружений ВиВ в соответствии с законодательством РФ о контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг.

Следует признать название «сметные нормативы» как обобщенное название целого комплекса сметных норм (затраты труда рабочих с указанием разряда, затраты труда машинистов строительных механизмов и машин, продолжительности работы строительных машин, потребности в материалах), расценок и цен, объединяемых в отдельные сборники государственных элементных строительных норм (ГЭСН). Затраты на земляные работы, а также водоотлив (водопонижение) определяются по ГЭСН сборника 1 «Земляные работы» (ГЭСН 81-02-01-2022). В сборниках 17, 22, 23 содержатся сметные нормы на выполнение работ по строительству внутренних и наружных сетей водопровода и канализации. И этот новый подход к расчёту сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения реализуется в РФ с 2023 года и опирается на ресурсно-индексный метод расчёта.

Федеральная сметно- нормативная база 2020 года (ФСНБ2020), опирающаяся на базисно-индексный метод (ТЕР и ФЕР), уходит в прошлое, но будет существовать до тех пор, пока не завершится строительство, начатое по ФСНБ-20, а это может быть 5 и более лет (долгострой). Актуальная в настоящее время ФСНБ2022 обеспечивает определение сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения ресурсно-индексным и индексным методами. При ресурсном методе расчеты осуществляют с использованием реальных текущих или прогнозных цен и тарифов на ресурсы. Калькулирование ведут на основе данных о потребности в материалах (речной песок, бетон, щебень, гравий, каболка, хризотил и т.д.), трубопроводах; данных о расстояниях и способах доставки материалов, труб на место строительства; данных о расходе энергоносителей на строительные-технологические цели; продолжительности эксплуатации строительных машин, их составе и количестве; данных о затрате труда рабочих и отдельно машинистов механизмов и строительных машин. При

составлении сметы важно знать технологию выполнения работ: будут ли использоваться те или иные машины и механизмы, материальные ресурсы, какие объемы считать.

Ресурсно-индексный метод предусматривает сочетание ресурсного метода с индексами для определения текущих и прогнозных затрат. Индексы изменения сметной стоимости строительства определяют, как частное от деления цен строительных ресурсов и иных затрат, сложившихся ко времени определения сметной стоимости строительства, на базисный уровень цен. Таким образом, сметная стоимость строительства определяется с использованием сметных норм, сметных цен строительных ресурсов в базисном уровне цен и одновременным применением информации о сметных ценах, размещенной в федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС), а также индексов изменения сметной стоимости к группам однородных строительных ресурсов и отдельных видов прочих работ и затрат в базисном уровне цен (Приказ Минстроя 421 /пр.).

К группе однородных строительных ресурсов относят строительные ресурсы, имеющие схожие технические характеристики и динамику изменения стоимостных показателей. При чём ценообразующим является не тот строительный ресурс, которого больше, а тот, который дороже стоит. ФГИС ЦС содержит классификатор строительных ресурсов, сведения об утверждённых сметных нормативах (ФРСН) и включает раздел «Мониторинг цен строительных ресурсов», где обеспечивается сбор, обработка, анализ и оценка информации, необходимой для формирования сметных цен строительных ресурсов. В настоящее время в ФГИС ЦС в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2016 года № 1452 «О мониторинге цен строительных ресурсов» размещена информация о сметных ценах строительных ресурсов и об индексах изменения сметной стоимости строительства по группам однородных строительных ресурсов для 85 субъектов Российской Федерации.

Сметные цены на материалы, эксплуатацию машин и механизмов публикуются ежеквартально, не позднее 25-го числа второго месяца квартала, следующего за отчетным. Информация о среднемесячных размерах оплаты труда рабочего и машиниста всех квалификационных разрядов публикуется ежегодно, не позднее 25-го апреля текущего года, а информация об индексах изменения сметной стоимости строительства по группам однородных строительных ресурсов размещается во ФГИС ЦС ежеквартально. В настоящее время переход всех субъектов Российской Федерации на ресурсно-индексный метод определения сметной стоимости завершён.

Для проверки и обоснования нового подхода к оценке сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения был выбран реальный объект исследования - строительство (прокладка) главного коллектора водоотведения протяжённостью 1,1км в одном из районов Ленинградской области. На этапе планирования строительства коллектора было предусмотрено:

- территория для строительства свободная от застройки и подземных коммуникаций, благоустройство не требуется;
- глубина заложения чугунных раструбных высокопрочных труб с шаровидным графитом (ВЧШГ) диаметром 500мм в одну нитку составляет 4м;
- разработка мокрого грунта в траншее с креплением (группа грунтов 1-3) производится с погрузкой в автомобили-самосвалы и последующей транспортировкой разработанного грунта на пункт временного размещения на расстояние 1км и обратно;
- засыпка производится местным грунтом;
- сейсмичность 6 баллов.

Практика

В данной работе предложены следующие 4 этапа определения сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения:

1. Обоснование инвестиций в строительство главного коллектора водоотведения с применением укрупнённых нормативов цены строительства (НЦС) и получением в результате расчётов значения предельной(предварительной) стоимости строительства. Этот метод определения стоимости строительства в настоящее время становится всё более востребованным. В градостроительном кодексе указано, что стоимость строительства не должна превышать предельную стоимость, которая рассчитана на основе НЦС. Значит на основе НЦС рассчитывается предельная стоимость строительства, т.е. оцениваются инвестиции и капвложения еще на начальной стадии.

2. Этап проектирования, подготовки сметы и определения сметной стоимости строительства с применением сметных нормативов и сметных цен строительных ресурсов.

3. Этап проведения конкурсных (закупочных процедур) на основании утверждённой заказчиком в составе проектной документации сметной документации. На этом этапе определяется начальная максимальная цена контракта (НМЦК).

4. Этап заключения контракта. В пределах НМЦК без использования сметных нормативов, но с учётом коэффициентов, определённых по результатам закупочных процедур, устанавливается цена (смета) контракта.

В данном исследовании предложен следующий алгоритм составления сметы для выбранного объекта исследования (2-ой этап определения сметной стоимости) - строительство (прокладка) главного коллектора водоотведения протяжённостью 1,1км в одном из районов Ленинградской области:

1. Проверяем статус (изменение) действующих методик.

2.Проводим анализ объёмов работ, формируем калькуляцию. Создаём смету с применением сметных норм ГЭСН 81-02-01-2022, ГЭСН 81-02-23-2022 из ФСНБ2022 на соответствующие виды работ.

3.Выбираем текущие цены из ФГИС ЦС.

4.Выбираем базисные цены по состоянию на 01.01.2022 из ценника ФСБЦ22.

5.Выбираем индексы к группам однородных ресурсов для Ленинградской области.

6. Проводим конъюнктурный анализ для позиций сметы, цен на которые нет во ФГИС ЦС и ФСНБ2022. Анализ проводим только в том случае, если нет данных о базисных ценах и индексах к ним.

7. Определяем накладные расходы и сметную прибыль в соответствии с установленными нормативами.

В данном исследовании расчёт прямых затрат на строительные- монтажные работы по прокладке главного коллектора водоотведения в Ленинградской области проведён по следующей обновлённой формуле:

$Z_{пр} = OT + OT_{м} + ЭМ + М$, где

OT-оплата труда рабочих,

OT_м- оплата труда машинистов,

ЭМ-стоимость эксплуатации машин и механизмов,

М- стоимость строительных материалов.

А расчёт всех строительные-монтажных работ, включая земляные, для анализируемого объекта выполнен по формуле:

$C_{смп} = OT + OT_{м} + ЭМ + М + НР + СП$, где

НР-накладные расходы,

СП-сметная прибыль.

По результатам исследования процесса применения двух методик для одного объекта получены следующие результаты.

Стоимость строительства главного коллектора диаметром 500мм и протяжённостью 1,1км, определённая по укрупнённым НЦС, составила 137828,32 тыс. рублей.

Стоимость строительства главного коллектора, определённая с применением сметных норм ГЭСН 81-02-01-2022, ГЭСН 81-02-23-2022 из ФСНБ2022, составила 46867,091 тыс. рублей, включая прямые затраты 44631,26 тыс. руб., накладные расходы -1372,069 тыс. рублей, сметную прибыль -863,778 тыс. рублей. Фонд оплаты труда в целом по смете составил 1179,768 тыс. рублей.

Процент отклонения итоговых сметных расчётов по ФСНБ2022 и суммы расчёта по НЦС составил 34%, что является допустимым в соответствии с требованиями Минстроя РФ, т.к. предельная стоимость строительства, установленная на первом (начальном) этапе определения сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, не превышена.

Выводы

Обоснована методология и представлен новый подход к оценке сметной стоимости строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения с учётом обновлённой формулы прямых затрат, элементных строительных норм и на основе совершенствования алгоритма расчёта сметной стоимости строительства.

Выполнена проверка сметы строительства главного коллектора водоотведения на достоверность путем сравнения расчётов по НЦС и ФСНБ2022, подтверждена точность ресурсно-индексного метода.

Таким образом, ресурсно-индексный метод значительно повышает точность и достоверность определения стоимости строительства.

Библиография

1. Алексеева, Н. А. Сравнительный анализ норм и нормативов на примере строительства скважин / Н. А. Алексеева // Фотинские чтения - 2021 (весеннее собрание): материалы VIII Международной научно-практической конференции. - Ижевск, 2021 - С. 33-35.
2. Алексеева, Н. А. Использование методов определения стоимости строительства в составе предпроектных проработок / Н. А. Алексеева, Д. А. Сапожников // Вектор экономики. - 2022 - № 1 (67).
3. Боброва, К. Ю. Проблемы ценообразования в строительстве и перспективы их решения / К. Ю. Боброва, Н. М. Фатьянова, Т. В. Добышева // Молодежный вестник ИрГТУ. - 2022- Т. 12 - № 3 - С. 482-486.
4. Васильева, Е. Ю. Особенности работы сметчика в 2023 году / Е. Ю. Васильева // Сметно-договорная работа в строительстве. - 2023 - № 1 - С. 4-10.
5. Гришаева, О. Ю. Методы составления смет затрат на строительство и ремонт мелиоративных сооружений / О. Ю. Гришаева, В. А. Шумаев // Научное обозрение: теория и практика. - 2020 - Т. 10 - № 3 (71). - С. 495-506.
6. Ефремова, О. А. Реформа ценообразования в строительстве: переход на ресурсно-индексный метод / А. О. Ефремова // Студенческий вестник. - 2022 - № 30-2 (222). - С. 52-54.
7. Жирнова, М. В. Переход на ресурсно-индексную модель определения сметной стоимости строительства / М. В. Жирнова, Е. Ю. Есин // Современные тенденции инновационного развития России: теория и практика: материалы Национальной научно-практической конференции. - Нижний Новгород, 2022 - С. 50-54.
8. Курбацкая, Е. П. Актуальные вопросы системы ценообразования в строительной отрасли Российской Федерации / Е. П. Курбацкая, Д. С. Рубченко // Строительство. Экономика и управление. - 2022 - № 3 (47). - С. 2-9.
9. Нефедова, К. В. Развитие системы мониторинга стоимости строительных ресурсов, оборудования, эксплуатации машин и механизмов для перехода на ресурсный метод

ценообразования / К. В. Нефедова // ФОРУМ СНИПИ: сборник тезисов докладов научно-технического форума ООО «СамараНИПИнефть». - Самара, 2021 - С. 124-125.

*Выбор дозы коагулянтов при проектировании станций очистки мутных природных вод
Гандурина Л.В. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, gand2@yandex.ru),
Петраш Е.П.* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, petrashep@mgri.ru),
Кравченко Д.С. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, stroi-voda-kaf@mgri.ru)*

Аннотация

Определены дозы минеральных коагулянтов в зависимости от мутности природных вод при ее осветлении отстаиванием. В качестве коагулянтов применялись жидкие товарные сульфат и хлорид железа (3+) и кристаллический сульфат алюминия (15% по Al_2O_3). Показано, что оптимальные дозы коагулянтов по иону алюминия или железа не зависят от вида коагулянта и нелинейно возрастают с увеличением мутности воды. Установлено, что на расчетные дозы коагулянтов по безводной соли влияет не только мутность исходной воды, как принято в СНиП 2.04.02-84, но и вид коагулянта. Для каждого коагулянта получены эмпирические степенные зависимости его оптимальной дозы от мутности исходной воды).

Ключевые слова

Коагуляция, отстаивание, соли алюминия и железа, доза, эффективность.

Теория

Как известно, одним из основных параметров, определяющим эффективность коагуляционной очистки воды является доза коагулянта [1]. Оптимальной дозой считается доза, при которой достигается требуемое или максимальное снижение одного или нескольких показателей качества воды: мутности, цветности и т.д.

Обычно оптимальную дозу выбирают экспериментальным путем [2]. Но в отсутствии такой возможности при проектировании очистных сооружений оптимальная доза выбирается по литературным данным или нормативным документам. Так по данным Бабенкова Е.Д. [3, с. 174] при содержании взвеси в воде более 100-200 мг/л зависимость дозы от мутности описывается уравнением:

$$D = K M^m, \quad (1)$$

где коэффициент $K=1-10$, а показатель степени $m=0,28-0,65$.

Значения K и m зависят от природы взвеси, вида коагулянта, условий водоочистки. Например, при реагентном умягчении природных вод [4] дозу коагулянта определяют по формуле:

$$D_k = 3 C_{взв}^{1/3}, \quad (2)$$

где $C_{взв}$ – количество взвеси в воде после введения реагентов-умягчителей.

Единственным нормативным документом, на основании которого обычно принимается доз коагулянта, являются строительные нормы и правила СНиП 2.04.02-84, в соответствии с которым (таблица 16, с.23) доза коагулянта зависит только от мутности и дисперсности нерастворимых примесей и не зависит от вида коагулянта.

Данные этой таблицы рекомендуется использовать для выбора дозы по безводной соли трех неорганических коагулянтов (сульфата алюминия, сульфата и хлорида окисного железа) при очистке мутных вод, содержащих грубодисперсные и тонкодисперсные взвеси и имеющих мутность от 100 до 1500 мг/л.

Для мутности природной воды до 100 мг/л, характерной для большинства источников водоснабжения нашей страны, в таблице дается только одна доза, 25 мг/л для грубодисперсной

и 35 мг/л для тонкодисперсной взвеси, что может приводить к перерасходу коагулянта при очистке маломутных вод. Выбор доз коагулянтов расчетным способом осложняется также появлением на российском рынке новых реагентов, концентрация товарных продуктов которых оценивается не по безводной соли, а по оксиду алюминия (поли- и оксихлориды алюминия), или по катиону (жидкий сульфат окисного железа).

В этой связи с целью нахождения наиболее достоверного расчетного способа определения доз реагентов в зависимости от мутности исходной воды проведено сравнение экспериментальных и расчетных величин оптимальных доз солей железа и алюминия, как по иону алюминия или железа, так и по безводной соли. В качестве коагулянтов применяли жидкий сульфат окисного железа (СЖ), хлорид железа (ХЖ) [5] и кристаллический сульфат алюминия (СА) в виде 0,1% водных растворов по иону алюминия или железа.

Исследования проводились на модельных мутных водах с исходной мутностью (М) 24-335 мг/л, щелочностью 3,8 ммоль-экв/л, жесткостью 3,9 ммоль-экв/л и удельной электропроводностью 380 мкСм/см. В качестве замутнителя применяли суглинок, отобранный с территории Сергиево-Посадского района Московской области. Коагуляцию примесей осуществляли по схеме: смешение воды объемом 0,5 л с 0,1% раствором коагулянта (по катиону) в течение 1 мин при среднем градиенте скорости перемешивания $G=350$ с-1 и хлопьеобразование в течение 5-10 мин при $G=65$ с-1. Осветление воды проводили отстаиванием в течение 5 мин с отбором верхнего слоя воды глубиной 40 мм декантацией. Коагуляцию примесей осуществляли на установке пробного коагулирования с механическими мешалками, рассчитанной на обработку 6 проб воды. Мутность воды определяли по стандартной методике путем измерения оптической плотности на фотоколориметре КФК-2.

Полученные зависимости мутности отстаиванной воды от дозы коагулянта представлены на рисунке 1. Как следует из рис.1 оптимальные дозы коагулянтов при исходной мутности воды 198 мг/л составляет 10 мг/л по катиону и не зависят от вида коагулянта, что косвенным образом подтверждает электростатический характер коагуляции под действием трехзарядных катионов алюминия или железа. При этом минимальная мутность отстаиванной воды достигается при использовании СА и составляет 20 мг/л. Снижение мутности исходной воды до 23 мг/л сопровождается уменьшением оптимальной дозы хлорного железа до 2 мг/л по иону железа, а увеличение мутности воды до 334 мг/л приводит к увеличению дозы коагулянта до 14 мг/л.

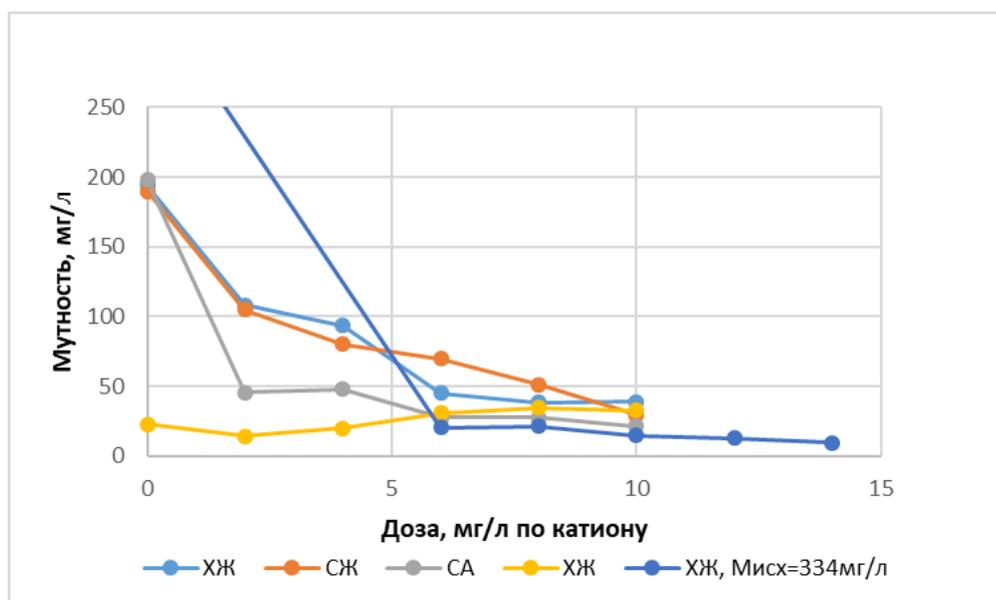


Рисунок 2. Зависимость мутности отстаиванной воды от дозы коагулянта по катиону

После перевода найденных для каждого коагулянта оптимальных доз по катиону в дозы по соли было проведено их сравнение с расчетными величинами по СНиП 2.04.02-84 (таблица 16) и формуле (2) в зависимости от мутности исходной воды. Результаты представлены на рис. 2, где также показаны полученные эмпирические степенные зависимости его оптимальной дозы от исходной мутности воды. Из рис.2 следует, что все кривые зависимости дозы коагулянта от мутности исходной воды с высокой достоверностью $R^2=0,995$ описываются степенной функцией (1), не совпадают с расчетной кривой по СНиП, т.к. зависят от вида коагулянта и не описываются формулой (2), поскольку изменяется природа мутности.

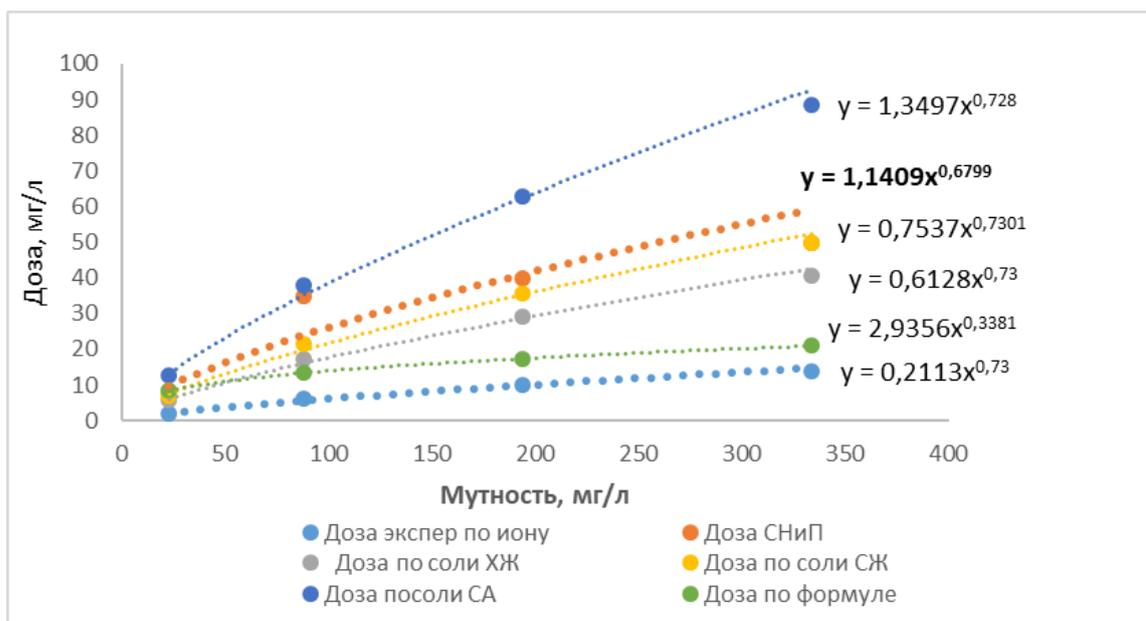


Рисунок 2. Зависимость оптимальной дозы коагулянтов по безводной соли или катиону от вида коагулянта и мутности исходной воды

Таким образом, предлагаемый способ расчета дозы коагулянта в зависимости от мутности воды по СНиП 2.04.02-84, не учитывающий вид коагулянта, может быть использован лишь для определения ориентировочной дозы, необходимой для расчета и проектирования реагентного хозяйства водоочистных станций.

Выводы

Изучена зависимость дозы коагулянтов, сульфата алюминия, сульфата и хлорида окисного железа, от мутности исходной воды в диапазоне 24-335 мг/л при ее осветлении отстаиванием. Установлено, что на расчетные дозы коагулянтов по безводной соли влияет не только мутность исходной воды, как принято в СНиП 2.04.02-84, но и вид коагулянта. Для каждого коагулянта получены эмпирические степенные зависимости его оптимальной дозы от исходной мутности воды.

Библиография

1. Основы химии и микробиологии воды: учебное пособие /Л.В. Гандурина, А.Н. Рожков - М: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016.-169с.
2. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод, М., 2005.-576 с.
3. Бабенкова Е.Д.Очистка воды коагулянтами, М, 1977.-356с.

4. Расчет балансовой схемы и станций умягчения воды промышленного предприятия: Учебно-методическое пособие / Д.П.Комаровский, О.Н.Сильванович- Новополец: ПГУ, 2015-.79 с.
5. Петраш Е.П., Гандурина Л.В. Сравнение коагулирующей активности жидких железо- и алюмосодержащих коагулянтов: Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» – М. : Изд. РГГУ, 2023.

*Исследование эффективности дефторирования модельной воды комплексными
титансодержащими коагулянтами*

Писарева А.А. (ФГБОУ РХТУ им Д.И.Менделеева, anastndrvn@yandex.ru)

Аннотация

В рамках данной работы была проведена оценка эффективности использования традиционных и комплексных титансодержащих коагулянтов в процессах очистки модельной воды от соединений фтора. Доказано, что максимальная эффективность дефторирования модельной воды наблюдалась при использовании алюминийсодержащих коагулянтов в диапазоне pH 5-6. Установлено, что добавка соединений титана в количестве до 10 % масс. позволяет снизить расход традиционных алюминийсодержащих коагулянтов в 1,5-2,5 раза без потери эффективности очистки.

Ключевые слова

Дефторирование, очистка воды, титансодержащие реагенты, коагуляция.

Теория

Поступление антропогенных фторидов в окружающую среду наносит непоправимый ущерб функционированию экосистем. Накопление фторид-ионов в почве и гидросфере приводит к угнетению роста и развития растений, возникновению флюороза у животных и людей.

Основными источниками поступления соединений фтора в окружающую среду являются предприятия черной и цветной металлургия, в особенности, алюминиевой промышленности, производства фосфорной кислоты и суперфосфатных удобрений, сталелитейные заводы и электростанции [1].

Для поддержания здоровья населения и предотвращения негативных последствий воздействия соединений фтора на организм важной задачей становится разработка методов глубокой очистки сточных вод промышленных производств от фторид-ионов.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимая максимальная концентрация фторид-ионов в питьевой воде составляет не более 1,5 мг/дм³. Наиболее распространенным методом очистки, который позволяет достичь требуемых нормативов и обеспечить глубокое удаление фторид-ионов из загрязненной воды, является коагуляционная очистка. В процессе коагуляции происходит хемосорбция фторид-ионов на поверхности продуктов гидролиза солей алюминия ($Al_2(SO_4)_3$, $Al_2(OH)_nCl_{(6-n)}$) или железа ($Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$), и, как следствие, осаждение их в виде малорастворимых в воде соединений.

Применение традиционных коагулянтов сопровождается рядом технологических особенностей, а именно высокими реагентными затратами, что влечет за собой повышенное содержание сульфат- и хлорид-ионов в очищенной воде, а также образованием больших объемов коагуляционных шламов, не подлежащих дальнейшей переработке [2-3]. В научной среде за последние несколько лет возрастает интерес к применению комплексных титансодержащих коагулянтов в процессах водоочистки и водоподготовки. Доказано, что введение соединений титана в качестве добавки к алюминийсодержащим коагулянтам позволяет снизить расход традиционного реагента и обеспечить более высокий уровень очистки [3-5].

Основной целью данной работы является оценка эффективности применения комплексных титансодержащих коагулянтов в процессе дефторирования модельной воды в сравнении с традиционными коагулянтами.

Для проведения экспериментов был приготовлен модельный раствор фторида натрия (11 мг/дм³ F⁻). Определение остаточной концентрации фторид-ионов проводили потенциометрическим методом с применением фторид-селективного электрода в соответствии с ГОСТ 4386-89.

Jar-тесты проводили на лабораторном флокуляторе фирмы VELP в двух режимах работы: быстрая (2 минуты) и медленная (8 минут) коагуляция. Дозу алюминийсодержащих коагулянтов определяли по стехиометрической реакции 1:



На первом этапе работы было необходимо определить влияние рН среды на эффективность дефторирования модельных растворов. Результаты представлены на графике рис.1.

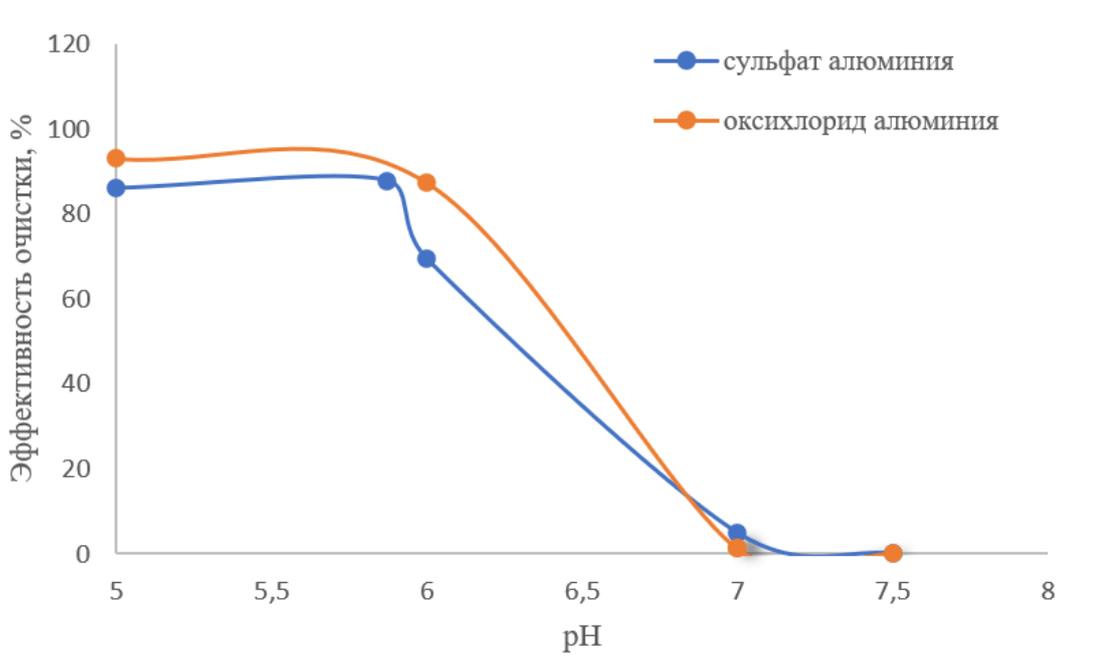


Рисунок 1. Оценка эффективности очистки солями алюминия в зависимости от рН среды

На графике рисунок 1 видно, что эффективность дефторирования воды увеличивается по мере снижения рН среды. Наибольшей способностью к хемосорбции фторид-ионы обладают в среде с рН 5-6, когда в системе осуществляется преимущественное накопление основных солей алюминия.

На следующем этапе работы при проведении коагуляции очищаемую воду обрабатывали комплексными реагентами с содержанием модифицирующей добавки соединений титана до 5 % масс. (в пересчете на TiO_2):

КТК_{сульфатный} - смесь сульфата алюминия и тиосульфата титана;

КТК_{сульфатно-хлорный} - смесь сульфата алюминия и тетрахлорида титана;

КТК_{хлорно-сульфатный} - смесь оксихлорида алюминия и тиосульфата титана;

КТК_{хлорный} - смесь оксихлорида алюминия и тетрахлорида титана.

Полученные в результате экспериментов данные по изменению концентраций фторид-ионов в воде представлены на графике рисунок 2.

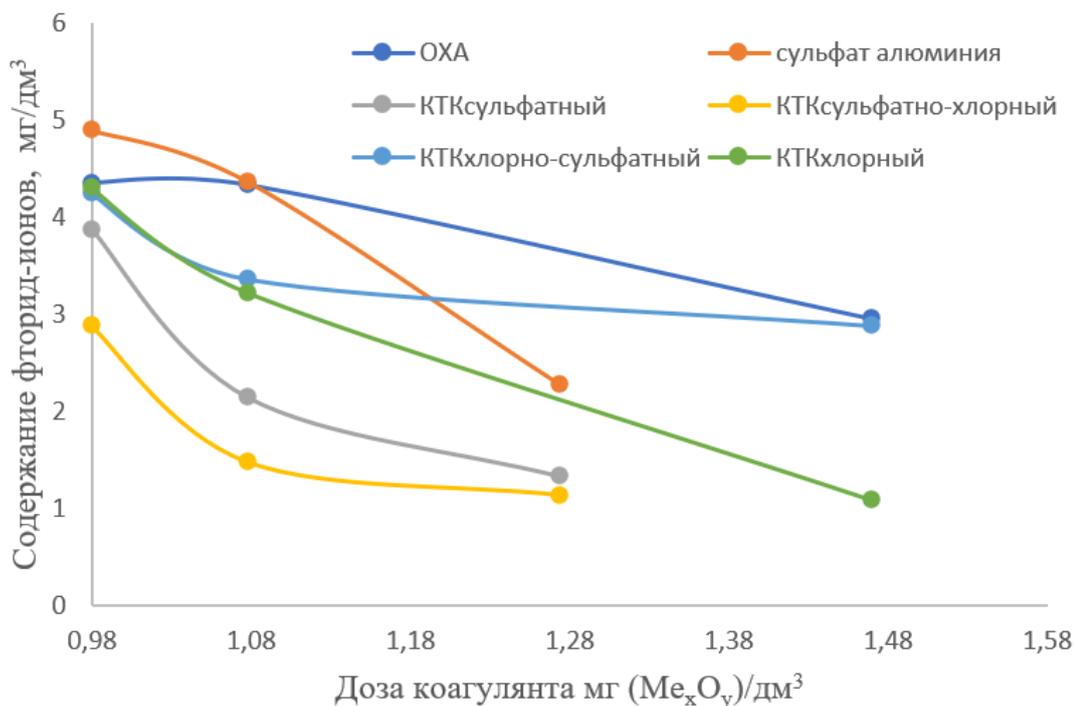


Рисунок 2. Остаточное содержание фторид-ионов после использования комплексных титансодержащих коагулянтов

Из данных, представленных на графике 2, видно, что применение всех форм комплексных титансодержащих коагулянтов позволяет достичь аналогичной эффективности очистки, при значительно меньшем расходе реагентов (в 1,5-2,5 раза), по сравнению с применением индивидуальных алюминийсодержащих коагулянтов.

В свою очередь, применение комплексных титансодержащих коагулянтов, в состав которых входит оксихлорид алюминия, требует больший расход реагентов в сравнении с КТК, содержащих в себе сульфат алюминия.

Наибольшей эффективностью обладает коагулянт КТК_{СУЛЬФАТНО-ХЛОРНЫЙ}, что объясняется в первую очередь образованием широкого спектра реакционно-активных продуктов гидролиза соединений титана.

Остаточная концентрация фторид-ионов в очищенной воде составляет 1,13 мг/дм³ при расходе коагулянта 30% от стехиометрической дозы, в то время как максимальная эффективность очистки при использовании коагулянта сульфата алюминия при таком же соотношении дозы коагулянта не превышает 79,4% с остаточной концентрацией фторид-ионов 2,27 мг/дм³. Очищенная вода может быть сброшена в городскую канализацию или использована для нужд оборотного водоснабжения предприятий [6-8].

Выводы

Проведена оценка эффективности использования традиционных коагулянтов в процессе доочистки модельной воды, загрязненной фторид-ионами. Установлено, что использование коагулянта сульфата алюминия позволяет достичь большую степень очистки по сравнению с использованием оксихлорида алюминия.

Показано, что в случае применения комплексного коагулянта при соотношении Al+Ti/F равном 1,1:1 позволяет достичь норматива сброса по фторид-ионам в соответствии с СанПин 1.2.3685-21.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю к.т.н., доценту Кузину Евгению Николаевичу за предоставленные образцы и помощь в проведении аналитических исследований.

Библиография

1. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2–98
2. Гордиенко М. Г., Кручинина Н. Е., Кузин Е. Н., Войновский А. А Оптимизация процесса получения отвержденных форм алюмокремниевого флокулянта-коагулянта для применения в очистке сточных вод // Безопасность в техносфере. 2012. Т. 1, № 4. С. 21-25.
3. Кузин Е. Н. Титансодержащие коагулянты в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. № 4 (84). С. 16-23
4. Кручинина Н. Е., Кузин Е. Н., Азопков С. В., Чечиков И. А., Петрухин Д. Ю. Модификация титанового коагулянта сульфатным способом // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 2. С. 24-27.
5. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Получение комплексных коагулянтов на основе крупнотоннажных отходов и продуктов промышленных производств // Цветные металлы. 2021. № 1. С. 13-18.
6. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Комплексные коагулянты очистки сточных вод гальванического производства // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27, № 4. С. 43-49
7. Kuzin E. N., Kruchinina N. E. Titanium-containing coagulants for foundry wastewater treatment // CIS Iron and Steel Review. 2020. Vol. 20, P. 66-69.
8. Averina J.M., Kaliakina G.E., Zhukov D.Y., Kurbatov A.Y., Shumova V.S. Development and design of a closed water use cycle // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2019), Bulgaria. 2019. Vol. 19, №3. P. 145–152.

*Кинетика процесса окислительной деструкции фенола под действием феррата натрия
Саранцева А.А. * (РХТУ им. Д.И. Менделеева, asar180302@gmail.com)*

Аннотация

Вопрос очистки сточных вод от растворенных органических соединений не теряет своей актуальности. Применение индивидуальных окислителей не всегда позволяет достичь необходимой эффективности деструкции, что обуславливает необходимость поиска новых методов очистки сточных вод от органических поллютантов.

В рамках проделанной работы изучен процесс окислительной деструкции фенола под действием феррата натрия, полученного электрохимическим методом. Установлено, что применение феррата натрия в 5-и кратном стехиометрическом избытке позволяет достигнуть 98% минерализации фенола, при этом скорость реакции окисления достигает 122 мкмоль/дм³·мин.

На основании полученных данных сделан вывод о перспективности применения феррата натрия в процессах очистки сточных вод от фенола. Высокая окислительная способность ферратов в сочетании с коагулирующими и дезинфицирующими свойствами позволят существенно расширить направления его применения.

Ключевые слова

Феррат натрия, окислительная деструкция, фенол, сточные воды.

Теория

Развитие промышленности и рост городов ведут к увеличению спроса на чистую пресную воду, однако большая часть водных ресурсов планеты подвержена негативному, антропогенному воздействию.

Сточные воды предприятий фармацевтической, нефтехимической, деревообрабатывающей, лакокрасочной и других типов промышленности содержат в своем составе органические вещества. Наиболее часто данные стоки содержат в своем составе фенол, который при попадании в водные объекты в результате сброса недостаточно очищенных сточных вод может привести к широкому спектру негативных последствий: нарушить общее санитарное состояние водоема, вызвать токсическое нарушения функций центральной нервной системы, провоцировать мутагенез и канцерогенез [1].

Ввиду негативного влияния фенола на живые организмы установлены строгие лимиты для сброса фенолсодержащих сточных вод с целью обеспечения безопасности людей и гидробионтов, а также сохранения общего санитарно-гигиенического состояния гидросферы [2]. Таким образом, сточные воды, содержащие фенол, требуют тщательной очистки перед сбросом их в водоемы.

В качестве одного из наиболее перспективных реагентов-окислителей могут применяться ферраты щелочных металлов. Для данных соединений характерен высокий окислительно-восстановительный потенциал, равный 2,20 В. Данное значение превышает показатель окислительного потенциала индивидуальных окислителей, таких как гипохлорит, пероксид водорода и даже озона [3-4]. Также важно отметить, что данный реагент не образует вредных вторичных продуктов, оказывает незначительное влияние на состав обрабатываемой воды и обеспечивает высокую эффективность окисления органических соединений.

Основной целью данной работы являлось изучение кинетики реакции окисления фенола под действием феррата натрия.

В настоящее время известно три способа получения ферратов щелочных металлов: метод сухого окисления, метод мокрого окисления и электрохимический метод [5, 7]. Наибольшее распространение среди известных методов получил электрохимический метод ввиду высокого

выхода продукта и простоты оформления аппаратной схемы. В процессе электрохимического синтеза феррата натрия происходит анодное растворение железных пластин в растворе щелочи. Подаваемый на электроды ток окисляет железо до степени окисления +6, в растворе гидроксида натрия происходит образование феррата натрия. При этом общее протекание процесса можно описать следующими уравнениями реакций (1-2) [6]:



В рамках данной работы получение феррата проводили в 15% растворе гидроксида натрия в течении 30 минут до начала пассивации электродов. В качестве источника тока применялся блок питания Ya Xun PS-305D. Процесс вели при силе тока 5 А и напряжении 10 В. Схема установки представлена на рисунке 1.

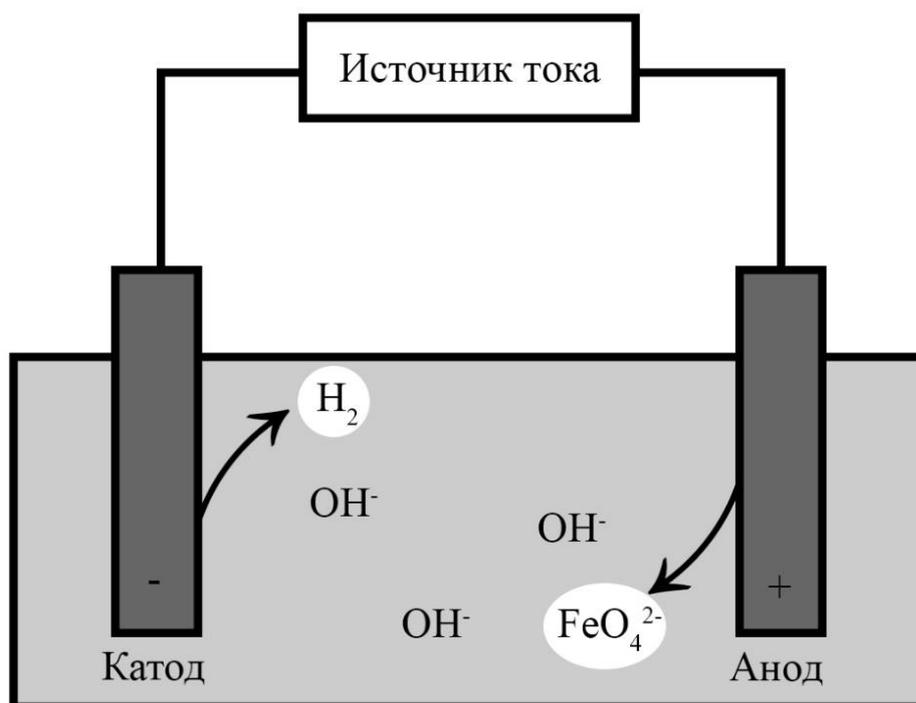


Рисунок 1. Схема электрохимической ячейки для получения феррата натрия

Определение исходной и остаточных концентраций фенола проводилось в соответствии с ПНД Ф 14.1:2.105-97 фотометрическим методом на фотометре КФК-3-«ЗОМЗ» при длине волны $\lambda = 490$ нм.

Обработку кинетических кривых окисления фенола ферратами проводили с помощью программного обеспечения пакета Origin 8.0. Экспериментальные кинетические зависимости аппроксимировали по зависимости вида:

$$y = a \cdot \exp(-x/b) + c, \quad (3)$$

где a , b , c – константы.

Начальную скорость окисления (v_0) фенола определяли как значение производной данной функции при времени равном 0, что для выбранной зависимости совпадает со значением константы a .

$$dy/dx = -a/b \cdot \exp(-x/b) \quad (4)$$

$$v_0 = a/b \cdot \exp(0/b) = a/b \quad (5)$$

Анализ возможных ошибок показал, что случайная погрешность измерений концентрации фенола, определенная в серии из 5 опытов для доверительной вероятности 0,95, не превышала величины 10 %.

В ходе работы были проведены эксперименты по изучению кинетики реакции деструкции фенола под действием феррата натрия. Для этого к 50 мл раствора фенола с исходной концентрацией $C_{исх.} = 56$ мкмоль/дм³ добавляли дозы феррата, эквивалентно равные 7,22; 14,44 и 28,88 мг/дм³. Реакцию взаимодействия феррата натрия и фенола можно описать следующим уравнением реакции (3):



Определение концентрации фенола проводили на 1; 2; 3; 5; 10; 15; 20 и 30 минуте реакции в соответствии с приведенной выше методикой.

На основании полученных данных были определены скорости реакций и эффективности процесса деструкции фенола под действием феррата натрия в зависимости от добавляемой дозы реагента-окислителя. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Скорости химических реакций и эффективность окисления при введении различной дозы феррат-аниона.

Таблица 1

Доза добавляемого FeO_4^{2-} , мг/дм ³	7,22	14,44	28,88
Эффективность окисления, %	2	78	98
Скорость реакции, мкмоль/дм ³ ·мин	0,07	30,23	122,07

На основании данных таблицы 1 видно, что при добавлении 28,88 мг/дм³ феррат-аниона, процесс деструкции фенола характеризуется высокой скоростью (122,07 мкмоль/дм³·мин) при эффективности окисления $\approx 90\%$. Также данная таблица указывает на тот факт, что при повышении дозы добавляемого реагента-окислителя увеличивается не только эффективность окисления, но и скорость реакции.

Выводы

На основании результатов эксперимента можно сделать вывод о том, что феррат натрия является высокоэффективным реагентом для реализации процессов очистки сточных вод от фенола. Высокая окисляющая способность в сочетании с коагулирующей и бактерицидной способности делают данный реагент универсальным и существенно расширяют сферы его потенциального применения.

Доказано, что окисление фенола под действием феррата натрия характеризуется высокой эффективностью ($\approx 90\%$) и скоростью реакции (122,07 мкмоль/дм³·мин). Повышение скорости

процесса деструкции органических веществ позволит существенно повысить эффективность очистных сооружений или снизить их габариты.

Одним из наиболее весомых преимуществ феррата натрия как реагента-окислителя для процессов очистки воды является отсутствие токсичных продуктов разложения и минимальное вторичное загрязнение очищаемой воды ионами реагента. Для увеличения природоохранного эффекта в качестве сырья для производства ферратов могут быть использованы металлургические отходы различных отраслей промышленности.

Благодарности

Автор выражает благодарность своим научным руководителям доцентам кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д.И. Менделеева к.т.н. Кузину Е. Н. и к.х.н. Иванцовой Н.А. за постоянное внимание к работе и ценные замечания.

Библиография

1. Кузьмина В. В., Грачева Е. Л., Тарлева А. Ф. Влияние фенола и его производных на активность пептидаз слизистой оболочки и химуса у рыб //Проблемы биологии продуктивных животных. – 2015. – №. 3. – С. 59-67.
2. Delaude L., Laszlo P. A novel oxidizing reagent based on potassium ferrate (VI) //The Journal of Organic Chemistry. – 1996. – V. 61. – No. 18. – P. 6360-6370.
3. Emzhina V. et al. Photodegradation of tetracycline in presence of H₂O₂ and metal oxide based catalysts //Journal of Water Process Engineering. – 2021. – V. 39. – P. 101696.
4. Jiao J. et al. Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) by Free Radicals in Advanced Oxidation Processes //Materials. – 2022. – T. 15. – №. 22. – С. 8152.
5. Munyengabe A., Zvinowanda C. Production, characterization and application of ferrate (VI) in water and wastewater treatments //Braz. J. Anal. Chem. – 2019. – V. 6. – No. 25. – P. 40-57.
6. Sun X. et al. Treatment of phenolic wastewater by combined UF and NF/RO processes //Desalination. – 2015. – T. 355. – С. 68-74.
7. Talaiekhosani A., Talaei M. R., Rezania S. An overview on production and application of ferrate (VI) for chemical oxidation, coagulation and disinfection of water and wastewater //Journal of environmental chemical engineering. – 2017. – V. 5. – No. 2. – P. 1828-1842.

***Применение информационной модели для выявления статистической связи между
высокими концентрациями лития и техногенными и природными факторами
Савойская Н.К.* (МГРИ, savoyskaya@mgri.ru)***

Аннотация

Доклад посвящён изучению особенностей формирования и накопления химических элементов в подземных водах целевых водоносных горизонтов в количестве, значительно превышающем предельно допустимые концентрации по действующим санитарным нормам и правилам.

Определены особенности накопления повышенных концентраций лития, характерные для центральной части Домодедовского района Московской области, на основе информационного анализа (по А.Б. Лисёнкову).

Ключевые слова

Подземные воды, загрязнение, информационный анализ, прогноз, генезис, элизионные процессы.

Источники финансирования

Отсутствуют.

Теория

С целью исследования природных и техногенных факторов, влияющих на накопление лития, мной была построена информационная расчётная модель для поиска статистической связи между повышенными концентрациями лития в подземных водах подольско-мячковского водоносного комплекса и природными и техногенными факторами на территории исследований [1].

Основными задачами научной работы являлись:

1. Выделение показателей для построения информационной модели.
2. Выбор наиболее информативных факторов для прогноза содержания лития в подземных водах.
3. Расчёт ошибки тестирования модели.
4. Выявление природных или техногенных показателей, повышающих эффективность модели.
5. Установление источников поступления лития в подземные воды.
6. Прогноз экологической ситуации на соседних территориях.

В качестве территории исследования рассмотрен участок, расположенный в долине реки Рожайки в среднем ее течении и вытянутый вдоль реки на 8 км. Подольско-мячковский комплекс практически на всей площади участка безнапорный, представленный в различной степени трещиноватыми известняками мощностью от 40 до 60 м. Уровень подземных вод изменяется от 140 до 126 м абс. выс. Отмечено загрязнение подземных вод бором, железом, алюминием, литием, стронцием и фторидами в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые значения.

На основе анализа публикаций на тему формирования лития в подземных водах в качестве основной была выдвинута гипотеза о техногенном происхождении лития. На это повлияли такие факторы, как:

1. На участке исследований мощность юрских глинистых отложений келловей-кимериджского возраста не превышает 10 м, а в пределах долины реки юрские глины полностью размыты.

2. Данные по химическому составу подземных вод, приуроченных к вышележащему четвертичному водоносному горизонту, также подтверждают превышение предельно допустимых концентраций по литию.

3. В рассмотренных на тот момент публикациях анализировалось накопление лития в подземных водах за счёт ионного обмена на контакте водовмещающих пород с повышенным количеством глинистой составляющей, когда калий переходит в твёрдую фазу и вытесняет из глин в первую очередь литий. Литий в свою очередь не способен сорбироваться глинистыми минералами и вынужден оставаться в воде, что и приводит к накоплению и увеличению его концентрации в ней. Однако, на рассматриваемом участке подземные воды в зоне активного водообмена — магниевые-кальциевые; содержание в них элементов, образующих ряд $K^+ > Na^+ > Li^+$ по сорбционной способности, не подтверждено анализами химического состава подземных вод, и гипотеза о природном происхождении лития была признана маловероятной ввиду затруднённого ионного обмена.

Алгоритм информационного анализа по А. Б. Лисенкову представлен на рис. 1. Методика моделирования заключается в формировании исходной модели на основе реального эколого-геологического состояния территории. Были выделены три группы показателей, которые могут влиять на формирование литий в подземных водах – геологические (отражающие защищённость подземных вод), гидрогеологические (характеристики водоносного комплекса и наличие карстового ландшафта) и показатели техногенной нагрузки (функциональный тип территории и содержание компонентов сплавов сетей подземных коммуникаций). В качестве исходных показателей, характеризующих состояние участка исследований вышеописанные группы разбиты на 11 простых признаков. Создана модельная сетка из 75 блоков, большая часть которой принадлежит обучающей части модели, оставшаяся часть – тестовой. После формирования исходной модели была сформирована информационная модель, на основании которой выполнена обучающая часть и отобраны наиболее информативные показатели, статистически связанные с содержанием лития в подземных водах. За выходной показатель было принято содержание лития в подольско-мячковском водоносном комплексе. Концентрация лития на участке по данным химических анализов на 2009 г. изменялась от 0 до 0,08 мг/л (при ПДК 0,03 мг/л). Наиболее эффективной оказалась модель, протестированная по факторам, которые были сформированы в сложные признаки по четыре простых признака в каждом. Независимо от количества сочетаемых признаков была установлена связь повышенных концентраций лития с мощностью юрских отложений, мощностью четвертичных отложений, содержанием алюминия до 0,05 мг/л и железа до 1 мг/л, приуроченностью к районам с селитебной нагрузкой и участкам отсутствия карста.

По результатам выполненной научной работы была рассмотрена и подтверждена гипотеза о техногенном происхождении высоких концентраций лития за счёт многолетнего разрушения подземных коммуникаций, в состав сплавов которых литий добавляется в качестве легирующего элемента для упрочнения, повышения пластичности и стойкости против коррозии.

Цель дальнейших исследований – рассмотреть и подтвердить гипотезу о природном происхождении высоких концентраций лития и других химических элементов в подземных водах за счёт элизионных процессов, которые предположительно активируются в связи с интенсификацией водообмена, обусловленного эксплуатационным водоотбором [3, 4].

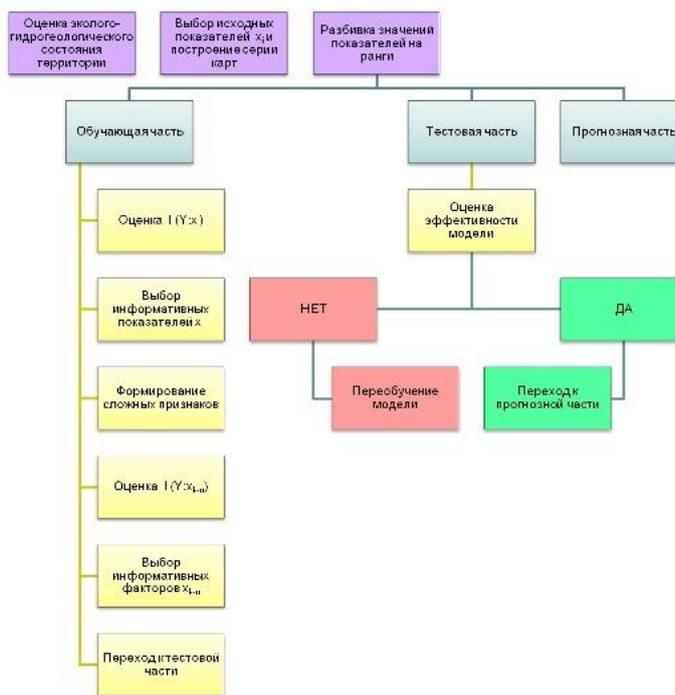


Рисунок 2. Алгоритм информационного анализа

Выводы

Загрязнение целевых водоносных горизонтов химическими элементами как техногенного, так и природного характера, оказывает всё большее влияние на качество подземных вод и в дальнейшем на стоимость их очистки. По этой причине возникает необходимость в проведении специальных гидрогеологических исследований для прогноза загрязнения подземных вод на территории перспективных водозаборов. С целью снижения капитальных и эксплуатационных затрат и повышения экономической эффективности поисково-оценочных и разведочных работ для изучения условий формирования и прогноза загрязнения предлагается рассмотреть гипотезу природного происхождения высоких концентраций химических элементов в подземных водах эксплуатируемых водоносных горизонтов и определить критерии, позволяющие учитывать эти факторы на ранних стадиях геологического изучения недр и оценки эксплуатационных запасов подземных вод.

Основной чертой геохимии лития в зоне гипергенеза является связь подавляющего его количества с глинами. Только в глинах и глинистых породах среднее содержание лития превышает его кларк. Устанавливается четкая тенденция увеличения средних содержаний лития от группы карбонатных пород, где лития 21,4 г/т, к песчанистым — 26,5 г/т и глинистым — 54,2 г/т. Накопление лития в пластовых водах артезианских бассейнов обусловлено тем, что литий не обладает способностью сорбироваться глинистыми минералами и вынужден оставаться в рассолах, что за период геологической истории и приводит к его обогащению в водах. В подземных водах литий содержится в концентрациях менее 0,001 до 700 мг/л (для сравнения в океанической воде - 0,15-0,2 мг/л).

Наиболее информативным критерием в обучающей модели из 11 простых признаков является мощность юрских глин, его информативность составила 15,47 %. Учитывая особенности мирового осадконакопления и геолого-гидрогеологические условия южного и юго-восточного района Московской области, где в качестве источников централизованного водоснабжения используются подземные воды Московского артезианского бассейна (МАБ), перекрытые толщей верхнеюрских глин, являющихся региональным водоупором,

предполагается получить интерпретацию статистической связи повышенного содержания лития с мощностью юрских глин путём компонентного анализа поровых вод в глинах [2] посредством имитации элизионных процессов на компрессионно-фильтрационном приборе.

Библиография

1. Лисёнков А.Б., Савойская Н.К. Изучение условий формирования лития в подземных водах на основе информационного анализа // Недропользование XXI век, № 6а (44), 2014. – с. 34-39.
2. Фисун Н.В., Почуев С.О., Фисун О.Н., Невечеря В.В. Оценка влияния поровых вод юрских глин на формирование подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна // Недропользование XXI век, № 6 (82), 2019. – с. 116-123.
3. Фисун Н.В., Шапин А.А. Гидрогеохимические аномалии лития, стронция и бария в подземных водах Пехорского месторождения // Геология и разведка, № 3, 2014. – с. 83-85.
4. Фисун О.Н., Фисун Н.В. Опыт исследования элизионных процессов в артезианских бассейнах открытого типа // В сборнике: Сборник научных трудов IV Научно-практической конференции по вопросам гидрогеологии и водобеспечения. Материалы конференции. Ижевск, 2022. – с. 56-63.

***Очистка сточных вод полигонов твердых бытовых отходов в условиях Вьетнама
Фам Т.И.Н.* (каф. ССВВ-МГРИ, yennhipham101@gmail.com),
Гогина Е.С. (каф. ССВВ-МГРИ, goginaes@mgr.ru)***

Аннотация

Одной из основных нерешенных экологических и социальных проблем урбанизированных территорий является снижение негативного воздействия полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). В городе Хошимин, Вьетнам объем ТБО превысил три миллиона тонн в год [4]. На этих полигонах ежедневно образуется около 1000–1500 м³ фильтрата [3]. Такие фильтраты содержат биологически трудноокисляемую органику, например галогенорганические соединения, азотсодержащие органические комплексы, вследствие чего обладают весьма высокими значениями показателя химического потребления кислорода (ХПК). Таким образом, снижение негативного воздействия полигонов ТБО на окружающую среду, в том числе обусловленного фильтрационными водами, является приоритетной и актуальной задачей. В работе рассмотрены физико-химический метод очистки фильтратов полигонов ТБО. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по коагуляционной очистке и известкованию.

Ключевые слова

Полигон, очистка фильтрата, ТБО, ХПК, коагуляционная очистка, известкование.

Теория

Полигон является наиболее распространенной формой переработки твердых бытовых отходов во Вьетнаме. На этапе эксплуатации полигона фильтрат образуется в основном из дождевой воды и жидкости, образующейся при разложении отходов [2]. Продолжительность эксплуатации полигона определяет характеристики фильтрата, такие как старый или новый фильтрат, накопление органических веществ, которые более или менее трудно/неспособны к биоразложению, азотсодержащие соединения изменяют свою структуру. Как и многие другие типы сточных вод, состав фильтрата (рН, щелочность, ХПК, БПК, NH₃,...) и свойства фильтрата, образующегося на полигонах, является одним из важных параметров, используемых для определения технологии очистки, подбора оборудования, определения дозировки реагентов, разработки соответствующих технологических регламентов [5].

Целью данной работы является исследование по повышению эффективности очистки фильтрата на полигонах ТБО и предложение технологии очистки фильтрата, подходящим для условий города Хошимин, Вьетнам для снижения затрат на очистку фильтрата.

Для разработки технологии очистки фильтрационных вод полигонов ТБО в условиях Вьетнама в качестве объектов исследования были выбраны фильтраты полигонов ТБО в Москве имеют примерно такие же качество, как и фильтраты полигонов ТБО Фуокхiep № 4 в Хошимине. Фильтрационные воды полигонов ТБО относятся к высокозагрязненным, характеризуются высоким (в сотни раз превышающим предельно-допустимые концентрации) содержанием токсичных органических и неорганических веществ [1]. В работе рассмотрены физико-химический метод очистки фильтратов полигонов ТБО с использованием метода коагуляции, известкования.

В эксперименте по **коагуляционной очистке** сточных вод были исследованы три пробы фильтратов с объемом 100мл. В каждой пробе фильтрата добавляют раствор полиоксихлорид алюминия Аква-РАС 15 ($Al_2(OH)_5Cl$ - 15г/л по Al_2O_3) в объемах, указанных в таблице 1. Через 30 минут пробу воды фильтруют бумажным фильтром. После фильтрации воды проводят определения ХБК, мутность, и рН.

В эксперименте по **известкованию** были исследованы три пробы фильтратов с объемом 100мл. К каждой пробе фильтрата добавляют раствор гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ 20% в объемах, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Объем раствора коагулянта и раствора $Ca(OH)_2$

Раствор	Коагулянт $Al_2(OH)_5Cl$			$Ca(OH)_2$		
	1'	2'	3'	1	2	3
Номер пробы	1	2	3	10	15	20
Объем раствора, мл	1	2	3	1000	1500	2000
Доза раствора, мг/л	150	300	450			

Для определения рН водных растворов использовали рН-метр- Seven compact, а для определения мутности Мутномер – Nach. Фотометрический метод используется для измерения ХПК с помощью тест-наборов и устройств компании Nach такие как: Спектрофотометр, терморектор и реактивы LCK014.

Состав начального фильтрата представлен в таблице 2.

Таблица 2

Состав фильтрата

№	Показатель	Единица	Значение
1	рН	-	6,98
2	ХПК	мг/л	8439
3	Мутность	NTU	286

Результаты очистки сточных вод методом коагуляции представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты анализа проб после очистки

Показатель	До очистки	После очистки, № пробы		
		№1'	№2'	№3'
рН	6,98	6,69	6,42	6,32
Мутность (М), NTU	286	38,1	16,2	14,4
Эффективность очистки от мутности, %	-	86,7	94,3	94,9
ХПК, мг/л	8439	8361	8173	7835
Эффективность очистки от ХПК, %	-	0,92	3,15	7,2

После завершения эксперимента по коагуляционной очистке, вода достаточно прозрачная, хлопья крупные, процесс осаждения хороший. Изображение воды после эксперимента коагуляционной очистки сточных вод представлено на рисунке 1.

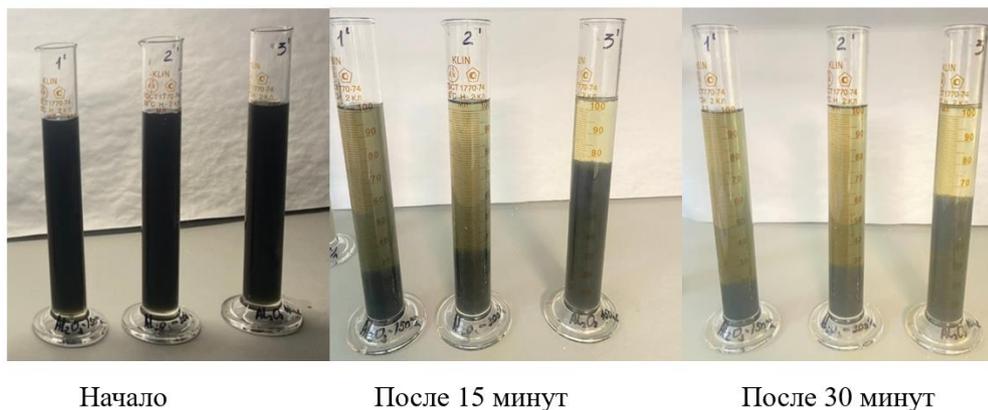


Рисунок 1. Результаты эксперимента коагуляционной очистки сточных вод

После наблюдения явления и результатов анализа видно, что при дозировке коагулянта 300 мг/л или 450 мг/л эффективность очистки фильтрата от мутности наиболее высокая. При дозировке коагулянта 450 мг/л эффективность удаления ХПК наиболее высокая.

Результаты очистки сточных вод методом известкования представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты анализа проб после очистки

Показатель	До очистки	После очистки, № пробы		
		№1	№2	№3
pH	6,98	12,58	12,66	12,7
Мутность, NTU	286	23,8	21,5	32,6
Эффективность очистки от мутности, %	-	91,7	92,5	88,6
ХПК, мг/л	8439	7343	7011	6614
Эффективность очистки от ХПК, %	-	12,9	16,9	21,6

Эффективность очистки от ХПК представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Результаты обработки ХПК

После завершения эксперимента по известкованию, вода прозрачная, хлопья крупные, процесс осаждения хороший. Изображение воды после эксперимента известкованием представлено на рисунке 3.

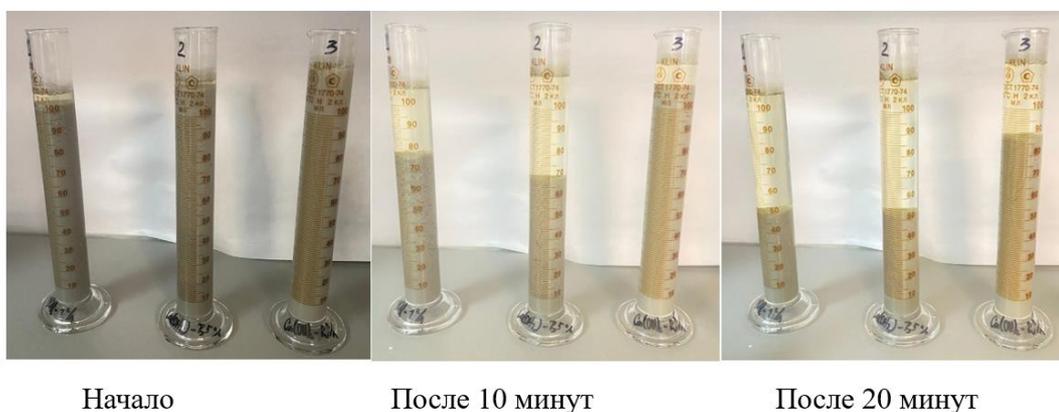


Рисунок 3. Результаты эксперимента очистки сточных вод известкованием

После наблюдения явления и результатов анализа видно, что при дозировке $Ca(OH)_2$ 1,5 г/л эффективность очистки фильтрата от мутности наиболее высокая. При дозировке $Ca(OH)_2$ 2 г/л эффективность удаления ХПК наиболее высокая (21,6%).

Выводы

В эксперименте по коагуляционной очистке видно, что при дозировке коагулянта $Al_2(OH)_5Cl$ - 300 мг/л эффективность очистки фильтрата от мутности высокая (94,3%), эффективность удаления ХПК не высокая (3,15%). В эксперимента по известкованию видно, что при дозировке раствора $Ca(OH)_2$ - 2 г/л эффективность удаления ХПК наиболее высокая (21,6%).

Результаты после процесса очистки фильтрата показали, что процесс коагуляции полиоксихлоридом алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ во много раз менее эффективен при очистке ХПК, чем процесс известкования. Поэтому для повышения эффективности удаления ХПК наряду с известкованием рекомендуется использовать метод коагуляции. После очистки воды известкованием и коагуляции предлагается обратный осмос.

Библиография

1. Комплексная технология очистки фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов / Т. А. Трифонова, А. А. Поворов, Л. А. Ширкин [и др.] // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19, № 11. – С. 4-9.
2. Nath, Aishi & Debnath, Animesh. (2022). A short review on landfill leachate treatment technologies. Materials Today: Proceedings. 67. 10.1016/j.matpr.2022.09.109.
3. National environmental status report 2020, Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi.
4. Nguyen Hong Khanh, Urban solid waste management, issues and solutions to move towards sustainable solid waste management in Vietnam, Journal of science and technology, volume 46, No. 6A, 2018, pp. 209-217.
5. T. Anqi, Z. Zhiyong, H. Suhua, L. Xia, Review on landfill leachate treatment methods, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. (2020) 012038.

***Определение параметров области фильтрации в условиях скачкообразного изменения
дебита***

***Шаров И. А.* (МГРИ, ivan.sharov.2013@bk.ru),
Фисун Н. В. (МГРИ, fisunnv@mgri.ru)***

Аннотация

Выполнена обработка откачки в условиях прерывистого водоотбора, опытно-фильтрационные работы проводились в зоне сочленения Ергенинской возвышенности и долины реки Волги. Сделаны выводы об особенностях определения параметров водоносного горизонта в данных условиях. Целью работы является корректировка методики опытно-фильтрационных работ в условиях изменяющегося дебита.

Был выбран период работы водозабора, при котором дебит скважины варировал от 0,1 м³/сут до 90,6 м³/сут. Продолжительность откачки составляет трое суток, выделены 10 стадий дебита. Определение коэффициента водопроводимости выполнено методом суперпозиции по ступеням дебита как одиночное скачкообразное возмущение, прослеженное по приведенному понижению в приведенном времени.

Исследовано изменение результатов расчетов фильтрационных параметров пласта по нескольким методикам, в том числе с учетом последующих ступеней откачки, и сопоставления полученных результатов. Сформулирован вывод о возможных причинах значительных колебаний значения коэффициента водопроводимости в ходе обработки данных, также об условии достоверности получаемых данных при диагностике такого рода откачек.

Выдвинуто предположение о влиянии границ области фильтрации на результаты опытно-фильтрационных работ. Получены данные о величине водопроводимости ергенинского водоносного горизонта на данном участке.

Ключевые слова

Параметры области фильтрации, условия прерывистого водоотбора, скачкообразный режим дебита, ергенинский водоносный горизонт, коэффициент водопроводимости, одиночное скачкообразное возмущение, опытно-фильтрационные работы, граничные условия.

Теория

Статья посвящена вопросам определения параметров пласта в условиях одиночного скачкообразного изменения дебита. Опыт решения подобных задач рассмотрен в работах [1-4]. Отметим, что такой режим эксплуатации характерен для многих водозаборов, выводящих подземные воды для заводов розлива и для санаторно-курортных учреждений, что определяет актуальность рассматриваемой проблемы.

Рассматриваемый водозабор расположен в зоне сочленения Ергенинской возвышенности и долины реки Волги в одной из балок, представляющей собой эродированную ложбину восточного склона Приволжской возвышенности. Целевым служит ергенинский водоносный горизонт. Северо-западная и юго-восточная границы участка водозабора имеют тектонический характер и удалены от водозабора на расстояние соответственно 668 м и 290 м. Северо-восточная проходит на расстоянии 430 м, совпадая с контуром выклинивания ергенинских отложений вблизи обрывов Волжской террасы, где они контактируют с хазарскими глинами (рис.1). На тектонических границах в естественных условиях отмечается разгрузка ергенинского горизонта, и здесь при эксплуатации водозабора может быть задано ГУ III - инверсия разгрузки (W). Северо-восточная граница является закрытой границей с ГУII. Четвертая (юго-западная) граница выделяется по выходам целевого горизонта на поверхность в области питания на расстоянии 4 км от водозабора, и в этом направлении граница пласта в гидродинамической модели может рассматриваться как ГУI. Целевой горизонт содержит напорные воды, в кровле которых залегают

горизонт скифских глин, отделяющих ергенинский горизонт от вышележащего водоносного горизонта четвертичных отложений с разностью отметок $\Delta H=8$ м – граница с ГУ III (слоистая толща с перетеканием). Обработка откачки из исследуемого водозабора ранее не выполнялась, и коэффициент водопроводимости целевого ергенинского горизонта был принят равным $14,6 \text{ м}^2/\text{сут}$ по результатам разведочных работ на смежных участках.

Обоснованная авторами по результатам разведки гидродинамическая модель показана на рис. 1. Область фильтрации в плане представляет собой пласт П-образной формы с двумя границами III рода (инверсия разгрузки W), одной закрытой границей ГУII ($Q=0$). Верхней границей в разрезе служит ГУIII, через которую происходит перетекание в смежный вышележащий горизонт, и здесь также при работе водозабора возможна инверсия разгрузки. По гидрогеологическим условиям участок водозабора характеризуется третьей группой сложности.

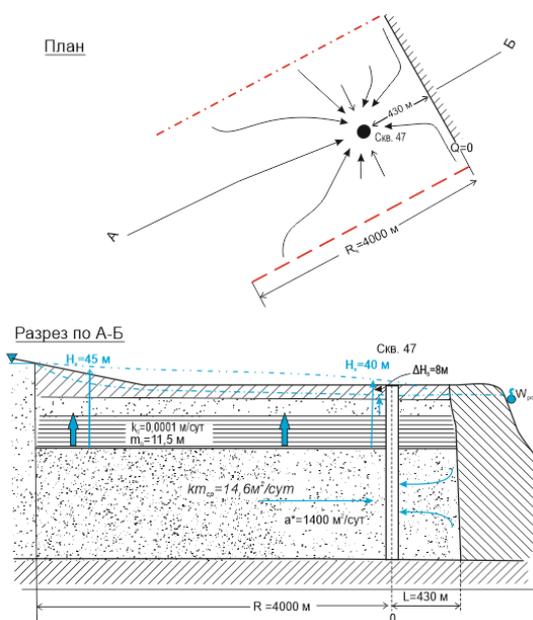


Рисунок 1. Схема водозаборного участка

Расчет коэффициента водопроводимости выполнялся методом суперпозиции по ступеням дебита как одиночное скачкообразное возмущение, прослеженное по приведенному понижению S/Q в приведенном времени $t_{\text{прив}}$. Приведенное время рассчитывалось по формуле (1).

$$\ln t_{\text{прив}} = \frac{Q_1 \ln t \pm \Delta Q_1 \ln(t-t_2) \pm \dots \pm \Delta Q_{n-1} \ln(t-t_n)}{Q_n}, \quad (1)$$

Графики временного прослеживания на разных ступенях опыта показаны на рис. 2, результаты расчета коэффициента водопроводимости по мере включения в расчет последующих ступеней дебита – на рис. 3. Ступени 5а, 7 не обрабатывались из-за недостаточности данных прослеживания уровня, но учтены при расчетах $t_{\text{прив}}$ на последующих ступенях дебита. На ступени 5 прослежен только установившийся режим, водопроводимость определена по Дюпюи.

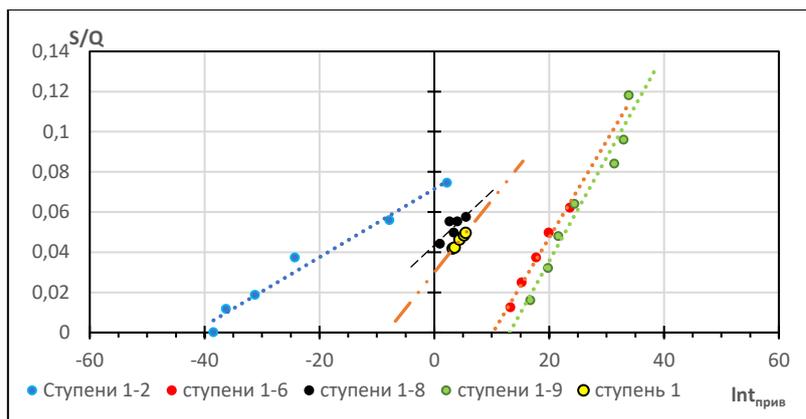


Рисунок 2. Графики временного прослеживания одиночного скачкообразного возмущения

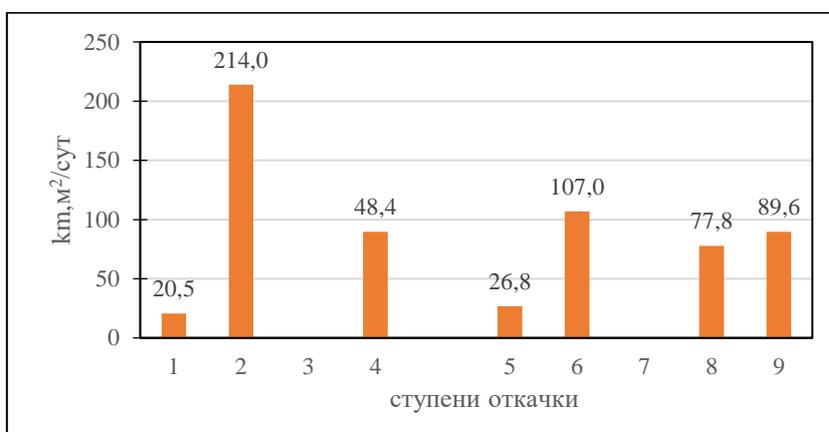


Рисунок 3. Результаты расчета коэффициента водопроницаемости нарастающим итогом на разных стадиях откачки

Как видно, рассчитанный параметр на разных ступенях дебита различается более, чем в десять раз. Можно заметить, что его значения оказываются в зависимости от дебита ступени (рис. 4): они выше на ступенях со снижающимся дебитом. Это может свидетельствовать о том, что на стадии с высоким дебитом происходила инверсия разгрузки целевого горизонта в вышележащий горизонт, и после резкого снижения дебита эта инверсия какое-то время продолжалась, приводя к росту уровня на следующей ступени.

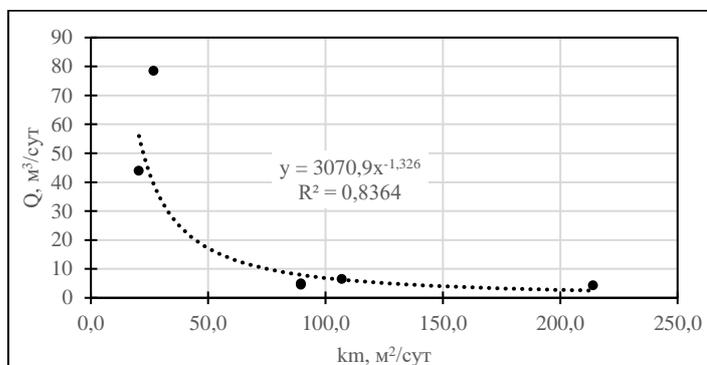


Рисунок 4. Изменение расчетных значений коэффициента водопроницаемости пласта на разных ступенях откачки со скачкообразным дебитом

Выводы

1. При обработке откачки со скачкообразно изменяющимся дебитом возможно проявление наследства ступеней с более высокими дебитами.
2. Достоверные значения параметров пласта при нескольких ступенях дебита откачки могут быть получены только при условии прослеживания полного восстановления уровня после каждой предыдущей ступени откачки. В рассматриваемой задаче это условие не выдержано, поэтому следует принять значение $km=20,5 \text{ м}^2/\text{сут}$ по первой ступени.
3. Влияние плановых границ при откачке не проявилось. Для его прослеживания следует иметь результаты наблюдений опытно-эксплуатационной откачки в течение времени, достаточного для формирования депрессионной воронки в радиусе ее влияния с учетом расстояния до «зеркально отраженной» расчетной скважины.
4. Выполненные исследования актуальны для корректировки методики опытно-фильтрационных работ при нескольких ступенях дебита откачки.

Библиография

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. 2-е изд. М.: Недра, 1979. 326 с.
2. Бочевер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчётов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. стр. 328 с.
3. Фисун Н.В., Шапин А.А. Особенности формирования понижения и качества подземных вод в условиях прерывистого режима водоотбора // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 75-79.
4. Штенгелов Р.С., Филимонова Е.А., Шубин И.С. Обработка откачки из напорного водоносного горизонта при переменном дебите и атмосферном давлении // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2017. № 3. С. 50-58.

Факторы, влияющие на качество проведения опытно-фильтрационных работ

**Горячев И.А. * (МГРИ, ilya.goryachev.02@inbox.ru),
Алентьев Ю.Ю. (МГРИ, alentev49@mail.ru)**

Аннотация

В настоящее время, в связи с растущими объёмами жилищного строительства и как следствия расширения и развития транспортной инфраструктуры, в районе крупных городов всё острее встают вопросы, связанные с проведением гидрогеологических работ в рамках инженерно-геологических изысканий. Данные вопросы поднимались и были рассмотрены в целом ряде работ С.М. Лехова [3]. Авторы данной работы постарались выполнить систематизацию основных факторов, влияющих на условия проведения и точность получаемых данных при проведении ОФР и показать влияния некоторых из них на конкретных примерах.

Ключевые слова

Опытно-фильтрационные работы, кустовая откачка, мегаполис, инженерно-геологические изыскания, гидрогеологические исследования.

Теория

Опытно-фильтрационные работы (ОФР), а в частности кустовые откачки - являются одним из наиболее достоверных, но и наиболее трудоёмких и соответственно дорогостоящих методов определения гидродинамических и емкостных параметров водоносного горизонта [2]. Методика проведения ОФР при инженерно-геологических изысканиях регулируется ГОСТ 23278-2014 [5]. Интерпретация результатов ОФР, как правило, осуществляется с помощью различных аналитических зависимостей, предполагающих сведение природных гидрогеологических условий к сильно упрощенным расчетным схемам [4]. Даже при правильном проведении ОФР влияние определённых факторов может привести к неправильной интерпретации данных.

Если вынести за скобки вопросы организационного плана и вопросы, связанные с наличием грамотных специалистов, которые детально были рассмотрены в работе Лехова С.М. [3], то все основные факторы влияющие на качество проведения кустовых и одиночных откачек можно разделить на:

- технические
- оборудования и подготовки скважин к ОФР
- человеческий фактор
- «не учтённые» возмущения на гидрогеологическую систему.

Технические факторы можно разделить на три группы: неправильный выбор оборудования; не корректное использование или дополнительные нагрузки на оборудования; выход оборудования из строя.

При рассмотрении фактора, связанного с оборудованием скважины и подготовке её к ОФР в нём можно выделить следующие аспекты: ошибка при проектировании и проходке скважины; неправильный выбор фильтра или его характеристик; не своевременная или не до конца выполненная прокачка скважины.

Человеческий фактор сводится, как правило к незнанию специфики опыта и отключению, либо наоборот, включению (при восстановлении) насосного оборудования, либо воздействию на водовод.

В качестве «не учтённых» возмущений на гидрогеологическую систему можно выделить: не лицензированные эксплуатационные водозаборные скважины, водопонижение и водоотлив при строительстве различных объектов; барражный эффект. Водопонижение и водоотлив при

строительстве различных объектов и барражный эффект особенно сильно оказывают воздействия при проведении ОФР при гидрогеологических исследованиях в районе мегаполисов.

Далее авторами будет рассмотрено примеры влияния технических и «не учтённых» возмущений на гидрогеологическую систему факторов.

В качестве технического фактора приводится крайне распространенный случай, когда на генератор питающий насос подключается дополнительное бытовое оборудования (чайник, ноутбук и т.д.), что приводит к падению напряжения и соответственно падению производительности насоса. Наглядно это показана на графике, части хода кустовой откачки рис.1. Возможным способом устранения влияния этого фактора является использования двух генераторов: один исключительно для насосного оборудования и второй для технических и бытовых нужд.

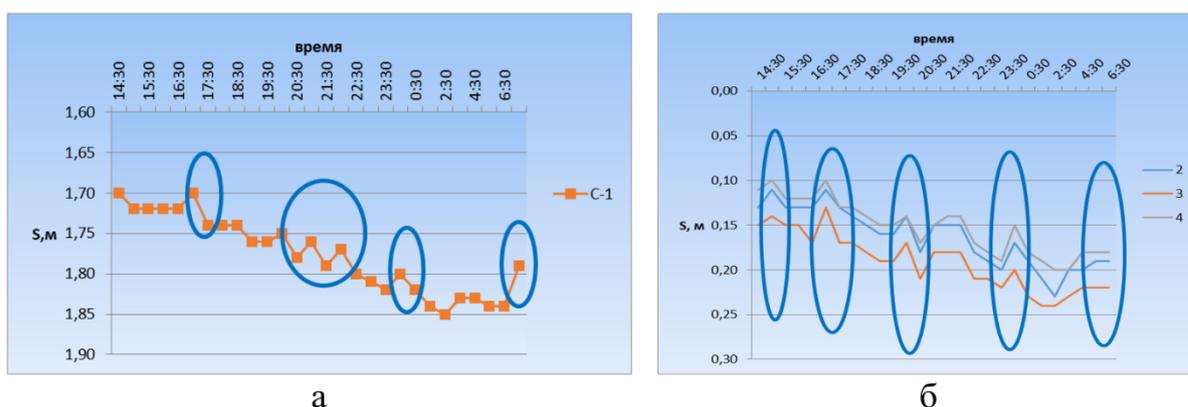
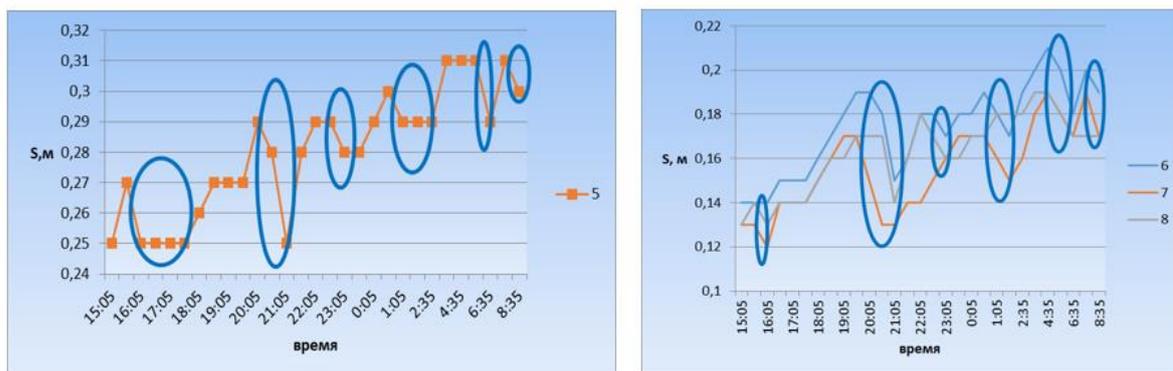


Рисунок 1. Интервал хода кустовой откачки с выделенными участками с выделенными периодами падения напряжения. а - центральная скважина; б - наблюдательные скважины

Влияние фактора не учтённых возмущений на гидрогеологическую систему показано на интервале графика (рис. 2.) на этапе восстановления, при пробной кустовой откачке, проводимой на каменноугольный водоносный горизонт на территории города Москва (рис. 3.) летом 2023 года. Этап восстановления выбран как наиболее показательный, поскольку причиной образующихся на графиках аномалий (рис.2) не могут быть неполадки в работе насоса в центральной скважине. Причиной возникновения аномалий может являться только влияние непостоянно работающего водопонижения, попадающего в зону влияния центральной скважины. Так как скачки уровня выше на участке 2 выше, чем на участке 1, объект, оказывающий влияние на водоносный горизонт, должен быть расположен ближе к нему. Рядом с участком 2 находятся 2 объекта (см рис. 3.), которые могут являться источниками возмущений уровня.

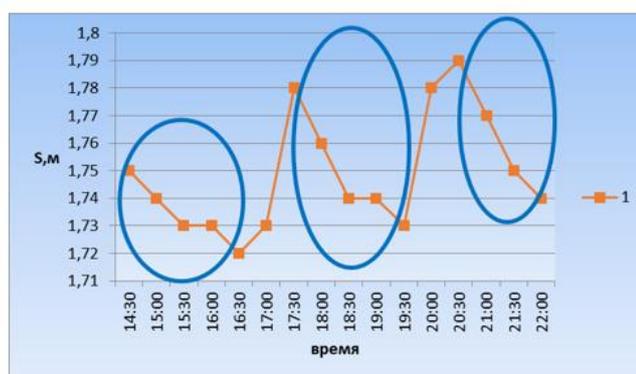
При этом, как видно из графика, приведенного на рис.2 скачки динамического уровня фиксируются при замерах во всех скважинах куста (в центральной и наблюдательных) в один момент времени.

Аномалии на графиках отражают моменты резкого повышения уровня подземных вод в пласте при отключении близрасположенных источников водопонижения.



a.1.

a.2.



б

Рисунок 2. Интервал хода восстановления при кустовой откачке с выделенными периодами роста понижения при выключенном насосе в связи с влиянием непостоянно работающего водопонижения или водозабора. а.1. -центральная скважина на 1-ом участке; а.2. – наблюдательные скважины на 1-ом участке; б -центральная скважина на 2-ом участке



Рисунок 3. План-схема расположения участков проведения ОФР и направления к предполагаемым возможным объектам водопонижения

При влиянии одного или нескольких факторов, перечисленных выше, на проведения ОФР, может возникнуть ситуация, при которой оказанное воздействие данных факторов может быть не замечено инженером, что в свою очередь может привести к искажению информации, полученной при опытно-фильтрационных работах, которая в дальнейшем будет использоваться для оценки гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Эти данные, в лучшем случае, покажут картину нарушенных естественных условий в пласте, однако, данные условия могут измениться в ходе инженерно-хозяйственной деятельности человека. Например, после завершения строительных работ прекращаются работы по водопонижению для котлованов и поднимется уровень подземных вод.

Выводы

Можно выделить 4 типа основных факторов, влияющих на качество проведения ОФР: - технические; факторы оборудования и подготовки скважин к ОФР; человеческий фактор; «не учтённые» возмущения на гидрогеологическую систему.

Целесообразность проведения ОФР зависит от степени техногенного воздействия на подземные воды в данный момент времени. В случае, если воздействие на подземные воды не столь значительно и проведение ОФР рационально - интерпретация полученных данных должна производиться с учётом влияния техногенных факторов (постоянное или переменное изменение уровня подземных вод) на гидрогеологические условия. Также необходимо прогнозирование изменения гидрогеологических условий в будущем.

Перед проведением ОФР при нарушенных естественных гидрогеологических условиях, например, при расположении рядом объектов водопонижения, рекомендуется проведение режимных наблюдений – опускание автоматического уровнемера [1] для замера уровня подземных вод на срок, необходимый для правильного учёта влияния техногенных факторов на горизонт.

Для того, чтобы обеспечить наиболее точные результаты, необходимо в ходе исследований установить время включения и отключения систем водопонижения и запланировать начало откачки на такое время, чтобы скачки динамического уровня не попадали в интервал первых нескольких часов произведения замеров и не оказывали существенного влияния на оценку гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

Библиография

1. Алентьев, Ю. Ю. Примеры использования средств автоматической фиксации (скважинных уровнемеров) при проведении опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений за уровнями подземных вод // Сборник научных трудов III научно-практической конференции по вопросам гидрогеологии и водообеспечения. – Ижевск, 2021. – С. 10-15
2. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – М., «Недра», 1979.
3. Лехов С.М., 2022. Кустовая откачка — это просто? Инженерные изыскания, Том XVI, № 2, с. 34–43, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2022-16-2-34-43>.
4. Семенчук Александр Владимирович. "ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЧИСЛЕННОЙ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ" Региональная геология и металлогения, no. 71, 2017, pp. 75-83.
5. ГОСТ 23278-2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости.

*Исследование эффективности применения солей железа для очистки мутных природных
вод*

Кравченко Д.С. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, stroi-voda-kaf@mgri.ru),
Гандурина Л.В. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, gand2@yandex.ru),
Петраш Е.П. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, stroi-voda-kaf@mgri.ru)*

Аннотация

Изучена эффективность применения солей трехвалентного железа и сульфата алюминия в зависимости от дозы коагулянта (по катиону), мутности и щелочности исходной воды, параметров хлопьеобразования.

Установлено, что наиболее эффективным коагулянтом является хлорное железо, при использовании которого оптимальная доза увеличивается с ростом исходной мутности воды. Определены оптимальные продолжительность хлопьеобразования и щелочность исходной воды, при которых хлорное железо снижает мутность воды на 99 %. Минимальное содержание железа в очищенной воде составляет 0,26 мг/л.

Ключевые слова

Коагуляция, отстаивание, соли алюминия и железа, доза, эффективность.

Теория

В отечественной практике коагуляционной очистки природных вод применяют соли алюминия [1]. Железосодержащие коагулянты, в основном железный купорос, используют в схемах реагентного умягчения природных вод [2]. С появлением на российском рынке жидких железосодержащих коагулянтов, хлорного и сульфата окисного железа, выпускаемых ООО «Химпродукт», возникла возможность их внедрения в практику коагуляционной очистки природной воды. В этой связи в данной работе изучена эффективность применения солей железа в зависимости от мутности и щелочности исходной воды, параметров хлопьеобразования. Для сравнения применяли кристаллический сульфат алюминия (СА). Концентрацию дозируемых растворов и дозы коагулянтов выражали в виде объемных концентраций по иону железа или алюминия в отличие от традиционных способов выражения по безводной соли или оксиду.

Эксперименты проводились на модельных водах, имитирующих природную воду, с мутностью от 24 до 334 мг/л, которую получали разбавлением водопроводной водой необходимых объемов 5%-ной суспензии окрашенного в коричневый цвет суглинка с территории Павлово-Посадского района Московской области. Водопроводная вода имела щелочность (Щ) 3,8 ммоль-экв/л, жесткость 3,9 ммоль-экв/л, удельную электропроводность 380 мкСм/см. Коагуляцию проб воды, объемом 0,5 л каждая, проводили в стаканах на лабораторной установке пробного коагулирования «Капля» по схеме: смешение, хлопьеобразование, отстаивание. Для анализа отбирался слой воды глубиной 40 мм. Продолжительность смешения, хлопьеобразования и отстаивания составляла соответственно 1, 5-40 и 5 мин. Интенсивность смешения составляла 150 об/мин, хлопьеобразования – 50 об/мин, что соответствовало среднему градиенту скорости перемешивания G соответственно 340 и 65 с⁻¹, рассчитанного по методике [3]. Коагулянты дозировали в очищаемую воду в виде 0,1%-ных водных растворов по катиону. Эффективность очистки воды оценивали по степени снижения мутности и содержанию ионов железа в очищенной воде. Мутность воды определяли по стандартной методике путем измерения оптической плотности при длине волны 540 нм на фотоколориметре КФК-2. Содержание железа определяли по интенсивности окраски роданида железа, образующегося по реакции ионов железа с роданидом калия, при длине волны 490 нм.

Ранее было показано [4], что при исходной мутности воды 80-100 мг/л оптимальные дозы коагулянтов не зависят от вида коагулянта и составляют 5-6 мг/л по катиону, при этом

минимальная мутность достигается при использовании хлорного железа (ХЖ). Проведенные нами эксперименты на воде с мутностью 196 мг/л также показали, что оптимальные дозы для всех коагулянтов одинаковы и составляют 10 мг/л по катиону, что подтверждает полученные ранее результаты.

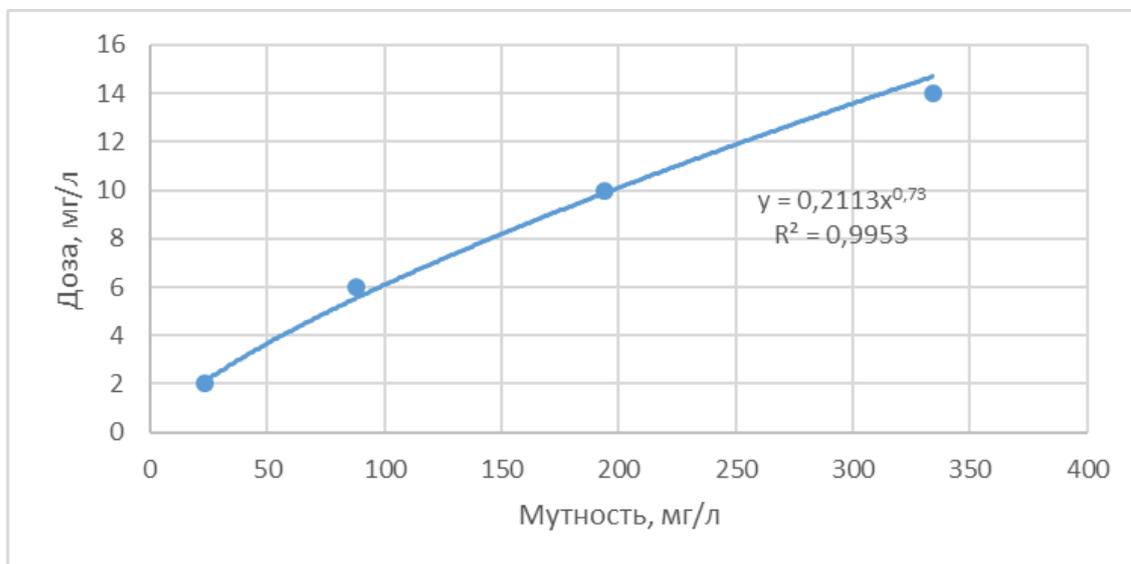


Рисунок 1. Зависимость дозы хлорного железа (по катиону) от мутности исходной воды.
Щисх=3,8 ммоль-экв/л

Поскольку мутность природной воды подвержена значительным сезонным колебаниям, была установлена зависимость оптимальной дозы хлорного железа, как наиболее эффективного коагулянта, от мутности исходной воды (рис.1). Из тезисов (включая и название тезисов) в общем случае должно быть ясно, что и где исследовалось, каким методом, какие конкретные результаты получены, и (если есть возможность) какие выводы более общего характера следуют из этих результатов. Если тезисы статьи методические, нужно чётко и понятно описать предлагаемый метод.

Как следует из полученных результатов, оптимальная доза коагулянта по катиону (D_k) увеличивается с увеличением мутности (M) очищаемой воды от 24 до 334 мг/л и описывается уравнением:

$D_k = 0,2113 M^{0,73}$, которое может быть использовано при выборе доз для всех изученных коагулянтов.

При этом эффект осветления воды зависит от исходной мутности и составляет 38-97 % при остаточной мутности очищенной воды 9-38,7 мг/л.

Снижения мутности очищенной воды возможно при оптимизации условий хлопьеобразования и щелочности обрабатываемой воды [1]. Зависимость мутности воды от продолжительности хлопьеобразования при использовании хлорного железа, представленная на рис.2, показывает, что оптимальное время хлопьеобразования ($T_{хл}$) при $G = 65 \text{ с}^{-1}$ составляет 10 мин, при котором эффект очистки увеличивается с 77 до 92 %, остаточная мутность снижается с 45 мг/л ($T_{хл}=5$ мин) до 15 мг/л.

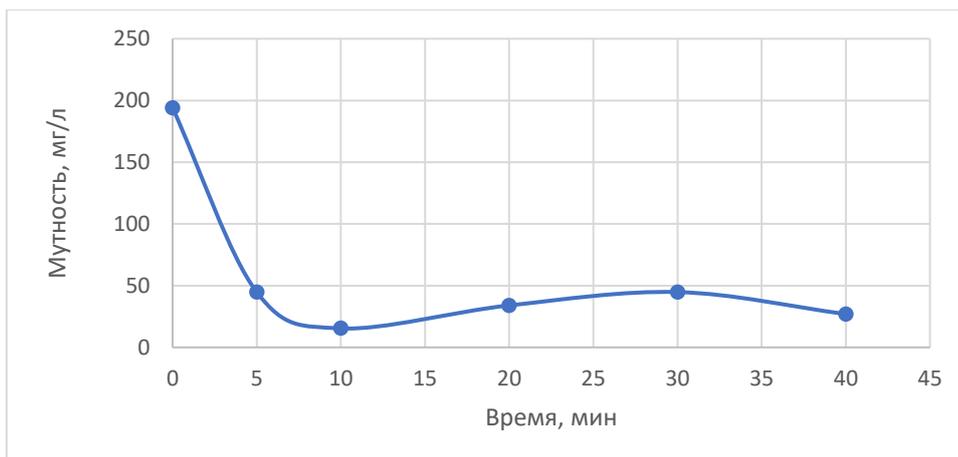


Рисунок 2. Зависимость мутности отстоянной воды от времени хлопьеобразования при применении хлорного железа дозой 6 мг/л. $\text{Щ}_{\text{исх}}=3,8$ ммоль-экв/л

Влияние щелочности исходной воды на остаточную мутность воды при оптимальных условиях коагуляции показано на рис.3. Как следует из полученных данных минимальная мутность очищенной воды при использовании коагулянтов достигается при щелочности 0,6-1,6 ммоль-экв/л, при которой применение СА и сульфата железа (СЖ) позволяет снизить мутность воды со 190 мг/л до 4-6,7 мг/л. Минимальная мутность очищенной воды 0,67 мг/л ($\text{Э}=99\%$) достигается при применении хлорного железа и исходной щелочности, равной 1,4 ммоль/л, при которой остаточная щелочность составит 0,9 ммоль-экв/л.

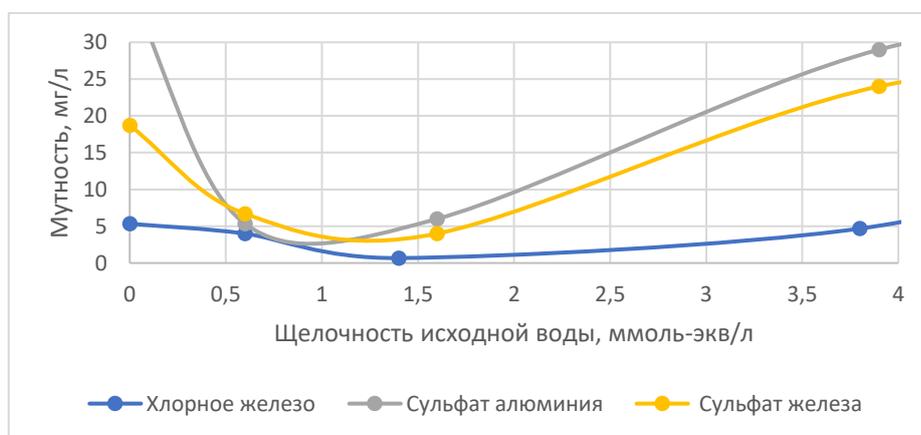


Рисунок 3. Зависимость мутности коагулированной и отстоянной воды от вида коагулянта и щелочности исходной воды. $M_{\text{исх}}=190$ мг/л $D_k=10$ мг/л, $T_{\text{хл}}=10$ мин

Таким образом, показано, что железосодержащие коагулянты и особенно хлорное железо имеют ряд преимуществ по сравнению с СА и могут применяться для коагуляционной очистки мутных природных вод.

Выводы

Изучена эффективность применения солей трехвалентного железа и сульфата алюминия в зависимости от дозы коагулянта по катиону, мутности и щелочности исходной воды, параметров хлопьеобразования.

Установлено, что наиболее эффективным коагулянтом является хлорное железо, при использовании которого оптимальная доза увеличивается с ростом исходной мутности воды. Определены оптимальная продолжительность хлопьеобразования (10 мин) и щелочность исходной воды (1,4 ммоль-экв/л), при которых хлорное железо дозой 10 мг/л снижает мутность воды на 99 % при исходной мутности 190 мг/л. Минимальное содержание железа в очищенной воде достигается при исходной щелочности 0,6 ммоль-экв/л и составляет 0,26 мг/л.

Библиография

1. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод, М., 2005. 576 с.
2. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков - М: Издательский дом МЭИ, 2016. 309 с.
3. Основы химии и микробиологии воды: учебное пособие /Л.В. Гандурина, А.Н. Рожков - М: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 169с.
4. Петраш Е.П., Гандурина Л.В. Сравнение коагулирующей активности жидких железо- и алюмосодержащих коагулянтов: Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» – М. : Изд. РГГУ, 2023.