



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе»
(МГРИ-РГГРУ)

На правах рукописи

Невечеря Вадим Вадимович

**Концепция раннего предупреждения развития негативных
инженерно-геологических процессов для сохранения памятников архитектуры
(на примере Кирилло-Белозерского музея-заповедника)**

Специальность 25.00.08 — Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

**Диссертация
на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук**

Научный руководитель:

д.г.-м.н., профессор Пендин В.В.

Москва 2017 г

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	8
1.1 Основные положения «Концепция раннего предупреждения негативных инженерно-геологических процессов»	9
1.2. Памятники и исторические природно-технические системы	16
ГЛАВА 2. ЛОКАЛЬНЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	21
2.1. Локальные архитектурные ИПТС – структура и особенности	25
2.2. Дополнения к классификации локальных ИПТС	28
Выводы ко второй главе.....	31
ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКАЛЬНОЙ ИПТС КИРИЛЛО-БЕЛОЗЕРСКОГО МОНАСТЫРЯ	35
3.1. Очерк инженерно-геологических условий окрестностей Кирилло-Белозерского монастыря.....	35
3.2 История функционирования локальной исторической ПТС Кирилло-Белозерского монастыря.....	44
3.2.1 Краткая история создания архитектурного ансамбля	44
3.2.2. Этапы функционирования локальной ИПТС	49
3.3. Структура локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря и краткая характеристика технических подсистем	54
3.3.1. Характеристика подсистемы «Памятники» элементарных ИПТС	55
3.3.2. Характеристика подсистемы «культурный слой» природно-археологической системы (ПАС).....	75
3.3.3. Характеристика подсистемы «трансформированные природные объекты» природно-трансформированной системы (ПТрС).....	87
3.3.4. Характеристика подсистемы «Сооружения» элементарных ПТС.....	94
3.4. Характеристика подсистемы «Сфера взаимодействия объектов локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой»	98
3.4.1. Изученность подсистемы «Сфера взаимодействия объектов локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой».	99
3.4.2. Краткая характеристика подсистемы «СВ» локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря	104
Выводы к третьей главе	139
ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ «КОНЦЕПЦИИ...» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЛОКАЛЬНОЙ ИПТС «КИРИЛЛО-БЕЛОЗЕРСКИЙ МОНАСТЫРЬ»	143
4.1. Алгоритм применения «Концепции...» для локальных ИПТС	143
4.2. Специальное аналитическое исследование.....	145
4.2.1. Оценка изученности подсистемы «СВ» локальной ИПТС.....	146

4.2.2. Применение ретроспективного анализа для изучения ИПТС	150
4.3. Инженерно-геологическое обследование локальной ИПТС	154
4.3.1. Специализированная инженерно-геологическая съемка – необходимый метод изучения подсистемы «Сфера взаимодействия» локальных ИПТС	155
4.3.2. Характеристика состояния (диагноз) и оценка режима функционирования элементарных ИПТС	159
4.4. Риск-анализ развития негативных инженерно-геологических процессов на основе районирования.	164
4.5. Мониторинг локальной ИПТС	178
4.5.1. Основные положения мониторинга локальных исторических природно-технических систем	179
4.5.2. Режимные сети мониторинга локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря.....	183
4.5.3. Анализ результатов наблюдений за уровнем подземных вод.....	185
4.5.4. Наблюдения за процессом криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания	190
4.5.5. Наблюдения за деформациями памятников.....	196
4.6 Управление выявленными рисками	203
4.7. Мониторинг за эффективностью мероприятий по локализации негативных экзогенных геологических процессов	213
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	226
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	232

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Обеспечение длительной устойчивости памятников архитектуры, режима их оптимального функционирования – главные задачи реставраторов и хранителей памятников. Задачи эти чрезвычайно сложны и поэтому в Международной хартии по консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательностей записано:

«Консервация и реставрация памятников является дисциплиной, где необходима помощь всех отраслей науки и техники, которые могут способствовать изучению и сохранению исторических памятников».

Привлечение специалистов в области инженерной геологии к делу сохранения и реставрации памятников архитектуры, проведение инженерных изысканий, в последние годы стало обязательным требованием при разработке научно-проектной документации. Однако, несмотря на принятые нормативные документы, регламентирующие порядок и последовательность проведения инженерно-геологических изысканий для создания проектной реставрационной документации, проблем, связанных с обеспечением устойчивости и стабильным функционированием памятников, не становится меньше. Одной из главных проблем по словам Е.М. Пашкина является «изучение причинно-следственных связей процессов взаимодействия памятников с геологической средой».

Для разработки превентивной системы предотвращения деформаций памятников архитектуры, а также диагностики причин деформаций, предлагается использовать концепцию раннего предупреждения развития негативных экзогенных геологических процессов, которая может стать необходимой частью общей концепции сохранения устойчивости памятников архитектуры.

Цель и задачи работы.

Целью работы является адаптация концепции раннего предупреждения развития негативных экзогенных геологических процессов в основании сооружений для сохранения исторических сооружений, входящих в локальные архитектурно-исторические природно-технические системы (ИПТС). Для её достижения были решены следующие **задачи**:

1. Разработан адаптированный алгоритм «Концепции раннего предупреждения....» для сохранения исторических сооружений локальных архитектурных ИПТС.

2. Проведено структурирование локальных архитектурных ИПТС на основе системного анализа и схемы классификации.

3. На примере локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря реализован алгоритм применения концепции «Раннего предупреждения.....», позволивший осветить вопросы:

- структурирования и анализа режима функционирования локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря;
- оценки степени изученности подсистемы «сфера взаимодействия (СВ)»;
- обобщения и систематизации материалов изучения инженерно-геологических условий территории Кирилло-Белозерского монастыря с 1987 по 2016 г.г.
- установления строения и структуры подсистемы «сфера взаимодействия», парагенеза процессов, влияющих на устойчивость памятников;
- построения актуализированных картографических моделей строения подсистемы «сфера взаимодействия»;
- проведения качественной оценки вероятности риска развития негативных инженерно-геологических процессов для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря;
- проведения анализа результатов наблюдений по режимным сетям мониторинга с целью его оптимизации.

Объектом исследования являются локальные архитектурные исторические природно-технические системы и, в частности, локальная архитектурная ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, их строение.

Предметом исследования являются взаимодействия между структурными элементами локальной природно-технической системы Кирилло-Белозерского монастыря.

Фактический материал и личный вклад автора

В основу работы положены материалы и результаты многолетних исследований сотрудников и студентов кафедры инженерной геологии на территории Кирилло-Белозерского музея-заповедника, материалы инженерно-геологических изысканий, проводившихся ООО «ИГИТ» в 2015-2016 г.г. для разработки проектов реставрации отдельных памятников, фондовые и архивные материалы. Автор принимал непосредственное участие в работах по проведению режимных наблюдений на территории монастыря, а также в камеральной обработке результатов исследований.

Практическое значение

Результаты работы, предлагаемый алгоритм концепции, может быть использован в качестве одной из составляющих общей концепции устойчивости памятников архитектуры историко-архитектурных ансамблей, которые рассматриваются как локальные исторические природно-технические системы. Применение алгоритма «Концепции...» к локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря позволило обобщить разновозрастный фактический материал, составить актуализированные модели строения СВ, что дает

возможность скорректировать и оптимизировать управляющие мероприятия, а также проектные решения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена общая структурная схема локальных архитектурных ИПТС.

2. Для классификации локальных архитектурных ИПТС предложено ввести, в общую классификацию локальных ИПТС дополнительные иерархические уровни (по занимаемой площади и наличию водных и ландшафтных объектов).

3. Разработан алгоритм концепции «Раннего предупреждения...», видоизмененный и адаптированный к локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря позволил впервые:

- структурировать локальную ИПТС монастыря, выделив и охарактеризовав подсистемы 53 элементарных ИПТС, природно-археологические системы (ПАС) «культурного слоя», природно-трансформированные системы (ПТрС) реки Свияги и Ивановского холма, природно-технические системы (ПТС) современных инженерных коммуникаций и защитных сооружений;
- провести ретроспективный анализ функционирования локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря;
- оценить степень изученности локальной ИПТС, в соответствии с предложенными критериями;
- провести качественную оценку риска развития негативных инженерно-геологических процессов, на основе картографических моделей «Сферы взаимодействия исторических объектов Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой» и метода «цветовой идентификации»;
- применить корреляционный анализ к результатам режимных наблюдений за осадочными деформациями исторических ПТС, после проведения управляющих мероприятий.

На защиту выносятся следующие положения:

Разработанный автором алгоритм «Раннего предупреждения развития негативных экзогенных геологических процессов в основании исторических сооружений, входящих в локальную ИПТС», который позволяет в конечном итоге разработать программу комплексной реставрации локальных исторических ансамблей.

Предлагаемая автором общая структура локальной архитектурной ИПТС, включающая в себя следующие структурные подразделения: элементарные ИПТС, природно-археологические системы (ПАС) культурного слоя, природно-трансформированные системы (ПТрС) водных и ландшафтных объектов, современные

элементарные ПТС, дает возможность оценить протекающие взаимодействия и выйти на комплексную оценку функционирования.

Предложенная качественная оценка вероятности риска развития негативных инженерно-геологических процессов для локальных ИПТС, проводится с использованием картографических моделей подсистемы «Сфера взаимодействия» и метода «цветовой идентификации».

Апробация работы.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на XI, XII, XIII Международных конференциях «Новые достижения в науках о Земле» в МГРИ-РГГРУ (2013, 2015, 2017 г.г.), на VI, VII, VIII международных конференциях «Молодые – наукам о Земле» в МГРИ-РГГРУ (2012, 2014, 2016 г.г.), на XI Всероссийской конференции-конкурсе студентов выпускного курса в Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» г. Санкт-Петербург (2014 г.), на XII общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» в г. Санкт-Петербург (2016 г.).

Публикации. По теме работы опубликовано в открытой печати 13 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертация общим объемом 244 страницы, состоящего из введения, 4 глав и заключения. Работа содержит 34 таблиц, 50 рисунков, 40 фотографии. Список литературы включает 185 наименований, в том числе 10 зарубежных авторов, на 11 страницах.

Благодарности.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору В.В. Пендину за мудрое руководство, терпение и постоянную помощь при написании диссертации. Автор выражает глубокую признательность и благодарность доценту В.О. Подборской за предоставление материалов многолетних работ, проведенных на территории Кирилло-Белозерского монастыря. Автор очень благодарен профессору Е.М. Пашкину за идейное вдохновение, полученное им в качестве студента. Автор выражает благодарность компании ООО «ИГИТ» за предоставление необходимых материалов, а также коллективу Кирилло-Белозерского музея-заповедника, заместителю директора КБМЗ по реставрации О.В. Вороничевой за помощь, поддержку и радушный прием. Автор благодарен своей жене Ирине за сочувствие в трудные моменты, а также коллективу кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ за советы и поддержку.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Проблема сохранения памятников архитектуры насчитывает не одно десятилетие. Тысячи специалистов в различных областях науки по всему миру занимаются поддержкой, реставрацией и реконструкцией памятников культурного наследия. Среди них особое место занимают специалисты в области инженерной геологии и геотехники. Это связано с тем, что древние зодчие руководствуясь принципом «как мера и красота скажет» зачастую выбирали не самое оптимальное место для строительства с точки зрения природно-климатических условий территории. На сооружения, которым суждено было простоять сотни, а иногда и многие сотни лет, с момента постройки начали влиять различные негативные процессы, которые отрицательным образом сказывались на их сохранности. Кроме того, на это накладывалось нецелевое использование исторических зданий и сооружений в разное время их существования. В итоге к концу XX-го века в России реставраторы столкнулись с огромным количеством памятников, находящихся в аварийном состоянии. С начала 1970-ых годов начался активный процесс реставрации и дальнейшей музеефикации объектов культурного наследия.

Зачастую отсутствовал опыт проведения реставрационных работ, это приводило к тому, что работы велись над внешними элементами памятников, не затрагивая причину деформаций.

Стало понятно, что подобные меры бессмысленны, реставраторы стали искать причинно-следственные связи, осознавая необходимость комплекса мероприятий по исследованию как конструкции самого сооружения, так и сферы его взаимодействия с геологической средой. Одними из ключевых мероприятий, предшествующих началу реставрации сооружения стали инженерные исследования фундаментов и оснований сооружений.

Инженерно-геологические исследования для определения причин деформаций памятников архитектуры серьезным образом отличаются от изысканий под новое строительство. Подобные специализированные исследования стали развиваться в 70-х годах XX века. В это время начали проходить конференции и совещания по реставрации и охране памятников архитектуры, на которых рассматривались вопросы влияния техногенных и геологических условий на сохранность объектов культурного наследия. Главным инициатором этой деятельности стал профессор кафедры инженерной геологии МГРИ д.г.-м.н. Е.М. Пашкин, который вместе с Г.Б. Бессоновым в 1984 году выпустил книгу «Диагностика деформаций памятников архитектуры» [105]. Этот труд положил начало, множеству работ различных авторов, посвященных проблеме инженерно-геологических исследований для памятников архитектуры.

В настоящий момент времени инженерной реставрации подверглись тысячи памятников архитектуры, многие из которых являются частью художественных ансамблей. Проект реставрации зачастую затрагивает только часть ансамбля, что в корне не верно, к подобным объектам необходим комплексный подход. Необходимо составлять проект реставрации для всего ансамбля в целом, для подобного комплексного подхода отлично подходит «Концепция раннего предупреждения негативных инженерно-геологических процессов».

1.1 Основные положения «Концепция раннего предупреждения негативных инженерно-геологических процессов»

Концепция раннего предупреждения негативных инженерно-геологических процессов изначально была разработана профессором кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ В.В. Пендиным для особо ответственных объектов с повышенной аварийной опасностью. Концепция была разработана в 1990-х годах для актуальных объектов и была успешно реализована на ТЭЦ Тёплый Стан, в Бушере (Иран) [114], а также на памятнике архитектуре Успенском соборе Кирилло-Белозерского музея заповедника [110].

В основе методологии «Концепции...» лежит применение системного подхода, риск-анализ, мониторинг литотехнической системы.

Для рассмотрения процессов взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды необходимо применять системный подход. Поэтому требуется рассматривать в совокупности все компоненты инженерно-геологических условий (тектонические, геологические, геоморфологические, климатические, гидрогеологические, состав и свойства грунтов, геологические процессы), при этом немаловажную роль играют типы, конструкции и особенности сооружений. В дальнейшем должна получиться единая теоретическая картина, своего рода модель, отражающая совокупность внутренних связей и отношений. В итоге объект представляется в виде системы – совокупности (множества) элементов, между которыми существуют связи.

Любое инженерное сооружение разнообразно влияет на некую область литосферы, однако при инженерно-геологических исследованиях нет надобности рассматривать большую область литосферы, тем самым инженер-геолог изучает её не как самостоятельную единицу, а как подсистему в составе природно-технической системы (ПТС). Применительно к объектам изучения на этих этапах требуется большая конкретизация данного понятия, так как главной целью исследований является получение информации, необходимой для оптимизации взаимодействия между литосферой, орудиями и продуктами труда.

Понятия «риск» имеет множество направлений в толковании, однако наиболее широко распространенное определение, звучит так «риск – мера опасности, практическая необходимость введения которой тесно взаимосвязана с необходимостью создания механизмов управления опасностями, с которыми сталкивается человек в различных сферах жизни и деятельности. Рассматривается понятие риска с двух принципиальных точек зрения» [123].

«Риск» в первом случае является производным понятием от опасности. В свою очередь под опасностью понимают способность причинения какого-либо вреда, в том числе угрозы жизни и здоровью человека, его материальным и духовным ценностям.

Во втором случае риск рассматривается как возможная опасность, количественное выражение её реализации. В этом случае под опасностью понимают источник риска, а риск в свою очередь – вероятностную меру соответствующей опасности (совокупности опасностей), установленную для определенного объекта в виде возможных потерь за единицу времени [5].

Мониторинг литотехнических систем один из главнейших компонентов обеспечения надежной и безопасной эксплуатации любого сооружения. Первым определением мониторинга литосферы или литомониторинга стало определение, сформулированное в 1981 г. Г.Л. Коффом [114]. В нем литомониторинг трактовался как система повторных, заранее запланированных в пространстве и времени наблюдений за динамикой развития геологических, техногенных и некоторых биологических компонентов геологической среды с диагностическими и научными целями [3].

По В.К. Епишину и В.Т. Трофимову [37]. литомониторинг представляет собой систему, которая включает в себя блоки контроля (режимных наблюдений) и управления (автоматизированная информационная система и система защитных мероприятий). В свою очередь Г.К. Бондарик и Л.А. Ярг литомониторинг определяют, как систему оценки состояния приповерхностной области литосферы, взаимодействующей с орудиями и продуктами труда, и прогноза её функционирования (это подсистема мониторинга среды обитания человека) [15].

Концепция разработана для объектов, у которых изначально не была заложена система литотехнического мониторинга, что делает задачу по определению причин деформаций крайне сложной. В связи с этим в качестве первого этапа реализации предложенной концепции (рис. 1) предлагается провести энергоинформационную холистическую экспертизу.



Проведение подобных исследований позволяет выявить зоны, где несущая способность грунта значительно понижается, зоны в которых проявляются различного рода гидрогеологические процессы, понижающие прочность фундамента и частей сооружения залегающих под поверхностью земли, а также понижающие несущую способность грунтов основания, также обнаружить «участки риска», связанные с конкретными условиями участка работ на территории которых протекают негативные инженерно-геологические процессы и т.д.

В результате энергоинформационной экспертизы составляется карта, на которой отображены выявленные специалистами зоны риска, а также участки, на которых выявлена максимальная интенсивность опасных процессов. Кроме предварительной диагностики и определения направления дальнейших исследований энергоинформационная экспертиза позволяет выявить степень риска опасности и дать предварительные прогнозные оценки состояния ЛТС. Необходимо отметить, что энергоинформационная холистическая экспертиза не признана всеми специалистами как метод научного познания, однако методика показала свою эффективность, на практике при исследованиях на территории ТЭЦ Теплый Стан. Поэтому данный пункт концепции не является обязательным, для реализации на объектах, но в случае выполнения может значительно облегчить работу в дальнейшем.

На втором этапе реализации концепции проводится инженерно-геологическое обследование объекта и прилегающей территории, с целью уточнить полученные результаты на первом этапе или собрать первичную информацию. В случае выполнения первого пункта необходимо уделять особое внимание оконтуренным областям на составленной карте.

На этапе обследования проводятся: сбор и анализ накопленной инженерно-геологической информации по объекту исследования, в том числе рассматривается информация, полученная до постройки сооружения, а также информация дополнительных инженерно-геологических изысканий в случае реконструкции объекта; маршрутное обследование территории; деформационная съёмка; минимально необходимый, но достаточный объем горно-буровых, специальных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований; геофизические исследования; лабораторные исследования воды и грунтов. Также на этом этапе необходимо ознакомиться с техническими и технологическими особенностями эксплуатации сооружения, которые оказывают влияние на функционирование ЛТС в целом.

В дальнейшем приступают к анализу материалов, собранных на этапе обследования ЛТС и проводят аналитическое исследование, представляющее из себя третий этап реализации концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов. Благодаря анализу архивных материалов и сбору актуальной информации по инженерно-геологическим условиям и состоянию ЛТС, определяется парагенезис инженерно-геологических и экзогенных процессов, которые создают возможную угрозу безопасности эксплуатации объекта. Необходимо построение карт разностей, карты такого рода позволяют отразить изменение тех или иных показателей свойств ЛТС. Карты позволяют выделить проблемные участки, и спрогнозировать

дальнейшее направление развитие процессов. Карты разностей могут отражать: мощность техногенных накоплений, изменение уровня грунтовых вод, влажности грунта и т.д. Этот этап работ определяет ход дальнейших исследований, так как благодаря ему мы судим о динамике развития ЛТС на протяжении всего периода функционирования. Собранные материалы проведенного анализа в свою очередь служат основой риск-анализа. В свою очередь риск-анализ используется для получения предварительного прогноза дальнейшего изменения состояния системы. Для решения подобной задачи предполагается использовать метод Монте-Карло. Согласно вышесказанному, проведенный анализ риска отказа ЛТС в результате активизации негативных инженерно-геологических процессов позволяет предварительно спрогнозировать теоретический срок функционирования ЛТС в пределах области допустимых состояний.

На пятом этапе реализации концепции проводится уточнение предварительного прогноза путём создания системы мониторинга. Структура литотехнического мониторинга изложена на рисунке 2.



Рисунок 2. Структурная схема литотехнического мониторинга

Организовывать литотехнический мониторинг необходимо по следующему алгоритму:

- 1) выбор и обоснование техники и технологии проведение мониторинга;
- 2) создание режимных сетей для получения информации об изменениях наблюдаемых параметров;
- 3) формирование геоинформационных систем (ГИС);
- 4) проведение корректировки созданных математических моделей, описывающих негативные инженерно-геологические процессы;
- 5) управляющие рекомендации по корректировке системы геотехнического мониторинга.

При выборе техники и технологии для осуществления литотехнического мониторинга необходимо полагаться на современное, высокоточное оборудование, способное осуществлять постоянный контроль параметров среды. Оборудование также должно быть автономным, устойчивым к внешним условиям, а также осуществлять передачу контролируемых параметров в цифровом виде в режиме online.

Пространственно-временная структура литотехнического мониторинга базируется на проведенной ранее оценке изменчивости отслеживаемых параметров в пространстве и времени, а также на конфигурации и компоновки подземных частей зданий и системы коммуникаций. Благодаря количественному описанию закономерностей пространственно-временной изменчивости на предыдущих этапах реализации концепции возможно корректно рассчитать места расположения пунктов получения информации, глубину их заложения и периодичность замеров. В зависимости от важности параметра для каждой конкретной ЛТС некоторые параметры должны контролироваться постоянно, а для некоторых допустимы замеры с различной периодичностью.

Данные с пунктов получения информации должны поступать на компьютер инженера, осуществляющего контроль за ЛТС, в случае резких изменений показаний датчиков система мониторинга по средствам программного обеспечения должна обратить внимание оператора на эти изменения. Система мониторинга может состоять из разных приборов и датчиков, это зависит от каждой конкретной ЛТС. Это могут быть сети: режимная геодезическая сеть для отслеживания деформаций сооружений, оснований и подземных коммуникаций; режимная гидрогеологическая – для слежения за колебаниями уровня подземных вод, их физическим и химическим составом, температурой; гидрологическая режимная – для наблюдений за расходами и уровнями поверхностных вод (морей, озёр, рек и т.д.) их химическим составом, физическими свойствами и температурой; мерзлотомеров для контроля глубина сезонного промерзания; сейсмологическая режимная для отслеживания динамических нагрузок, возникающих в результате колебаний грунта, определенной величины, как естественного, так и искусственного происхождения и т.д.

Данные полученные с помощью литотехнического мониторинга должны оперативно обрабатываться с помощью современных компьютерных программных комплексов. Перечисленные программы направлены на построение геоинформационных систем, карт изменчивости того или иного параметра в пространстве и времени, а также проведения геотехнического моделирования негативных инженерных геологических процессов. Выбор того или иного программного продукта обусловлен тем, насколько он сможет обеспечить выдачу необходимой информации о текущем состоянии ЛТС.

Корректировка прогноза, полученного на предыдущих этапах реализации концепции, осуществляется на основе алгоритмов, с помощью которых можно создать математическую модель, которая полностью описывает отслеживаемый процесс. Например, модели прогноза гидродинамического, гидрогеохимического и температурного режимов подземных вод, геомеханическая модель взаимодействия сооружения (подземной его части) с основанием в связи с изменением напряженно-деформированного состояния и др.

Для создания такого рода алгоритма необходимо следующее:

- 1) прежде всего выбрать подходящую математическую модель, затем определить параметры сетки для пунктов получения информации, задать граничные условия модели, задать временной и пространственный шаг, провести калибровку модели;
- 2) необходимо отобрать и математически сформулировать исходные данные;
- 3) провести верификацию модели на основе прогноза в фиксированных и изменяющихся во времени условиях и сопоставление с имеющимися данными наблюдений;
- 4) скорректировать исходные данные и граничные условия;
- 5) выполнить корректировку прогнозных расчетов.

На основании проведенного мониторинга необходимо выбрать подходящие по его итогам управляющие решения для ЛТС и в дальнейшем реализовать их на практике. Решения выбираются на основе скорректированных прогнозных моделей о состоянии ЛТС, чем больше факторов учитывает построенная модель, тем эффективнее управление и корректировка программ дальнейшего геотехнического мониторинга.

В завершении реализации концепции раннего предупреждения негативных инженерно-геологических процессов проводится проектно-аналитическая и статистическая деятельность, направленная на разработку управляющих рекомендаций по безаварийной эксплуатации изучаемого объекта.

Разрабатываются сценарии, по которым процесс из стационарного переходит в режим с обострением [113], это позволяет проводить оперативные мероприятия по предотвращению проявлений негативных процессов. Необходимо отметить, что план мероприятий не должен приводиться в действие автоматически, он должен только

предлагаться инженеру принимающему управляющее решение, в качестве одного из вариантов. Только лишь после всестороннего изучения последствий реализации предлагаемого плана и учета логики дальнейшего развития событий принимается решение о реализации управляющих мероприятий. Контроль осуществляемый посредством геотехнического мониторинга за реакцией ЛТС на введение в действие управляющих решений позволяет корректировать прогнозные математические модели.

Основанная на изложенной теоретической и методологической базах и реализованная по предложенной методике концепция раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов в полной мере способствует достижению поставленной перед ней цели – обеспечению безопасного функционирования актуальной литотехнической системы.

1.2. Памятники и исторические природно-технические системы

Изначально инженерная геология была направлена на изучение грунтов оснований перед началом строительства, для выбора оптимальной конструкции и размещения проектируемого объекта. Однако, по пришествию времени перед инженерами-геологами встали другие цели и задачи.

Специалисты были привлечены для не совсем свойственной им работы, к обследованию грунтов основания уже существующих сооружений. Это было связано с тем, что сооружения начали давать неравномерную осадку и надо было понять причину и как можно быстрее её локализовать. Для решения подобных задач потребовалось изменить существующие методики изысканий, приспособиться к сложности получения прямой инженерно-геологической информации непосредственно в сфере взаимодействия сооружения. Изначально методики обследования грунтов оснований эксплуатируемых сооружений были разработаны для относительно современных объектов, которые в период их строительства или эксплуатации претерпевали неравномерные осадки или взаимодействия с негативными экзогенно-геологическими процессами. Однако в дальнейшем эти методики стали применять для обследования объектов культурного наследия, которые имеют целый ряд особенностей по сравнению с современными [188].

- непосредственно памятники — отдельные постройки, здания и сооружения с исторически сложившимися территориями (в том числе памятники религиозного назначения: церкви, колокольни, часовни, костёлы, кирхи, мечети, буддистские храмы, пагоды, синагоги, молельные дома и другие объекты, специально предназначенные для богослужений); мемориальные квартиры; мавзолеи, отдельные захоронения; произведения монументального искусства; объекты науки и техники,

включая военные; частично или полностью скрытые в земле или под водой следы существования человека, включая все движимые предметы, имеющие к ним отношение, основным или одним из основных источников информации о которых являются археологические раскопки или находки (далее — объекты археологического наследия);

- ансамбли — четко локализуемые на исторически сложившихся территориях группы изолированных или объединенных памятников, строений и сооружений фортификационного, дворцового, жилого, общественного, административного, торгового, производственного, научного, учебного назначения, а также памятников и сооружений религиозного назначения (храмовые комплексы, дацаны, монастыри, подворья), в том числе фрагменты исторических планировок и застроек поселений, которые могут быть отнесены к градостроительным ансамблям;
- а также произведения ландшафтной архитектуры и садово-паркового искусства (сады, парки, скверы, бульвары), некрополи, достопримечательные места [188].

На протяжении сотен лет человечество возводило множество сооружений, которые впоследствии стали важными историческими и культурными объектами. Эти объекты в свою очередь получили название «памятники». Существует множество значений слова «памятник», в целом они схожи по смыслу, но могут отличаться в деталях. Поскольку в инженерной геологии необходимо придерживаться современной нормативной документации, в качестве основного документа по сохранению «памятников» в России является федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (№ 73-ФЗ от 25.06.2002), в котором приводится следующий понятийный аппарат и некая классификация (рис 3) для исторических зданий и сооружений, попадающих под государственную охрану.



Рисунок 3. Классификация объектов культурного наследия согласно Федеральному закону «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (№ 73-ФЗ от 25.06.2002) [188]

Согласно закону «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (№ 73-ФЗ от 25.06.2002) под объектом культурного наследия (ОКН) понимаются памятники истории и культуры народов Российской Федерации — объекты недвижимого имущества со связанными с ними произведениями живописи, скульптуры, декоративно-прикладного искусства, объектами науки и техники и иными предметами материальной культуры, возникшие в результате исторических событий, представляющие собой ценность с точки зрения истории, археологии, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, эстетики, этнологии или антропологии, социальной культуры и являющиеся свидетельством эпох и цивилизаций, подлинными источниками информации о зарождении и развитии культуры.

Инженер-геологи рассматривают не только само сооружение, а область литосферы, которая взаимодействует с сооружением или только с его фундаментами, такие системы называются литотехническими (ЛТС). Любые ЛТС разделяются на подсистемы, в которых искусственную часть в инженерной геологии принято называть термином «сооружение», в свою очередь подсистему, представленную геологической средой «сферой взаимодействия». Согласно Г.К. Бондарiku [5], взаимодействия между естественными и искусственными частями – подсистемам проявляются в виде инженерно-геологических процессов. Выделяют элементарные ЛТС которые включают в себя подсистему «сооружение» и «сферу взаимодействия», а также локальные ЛТС которые включают себя комплекс сооружений сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются.

Более широким понятием являются природно-технические системы (ПТС). Природно-техническая система (ПТС) – это упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средства труда, естественный и искусственно измененные тела, а также естественные и искусственные поля [5]. Исходя из определения основным отличием их от литотехнических систем заключено в том, что вместо «сферы взаимодействия» ограниченной областью литосферы, выступает некая область взаимодействия, которая включает в себя все природные поля, что наглядно продемонстрировано на рисунке 4.

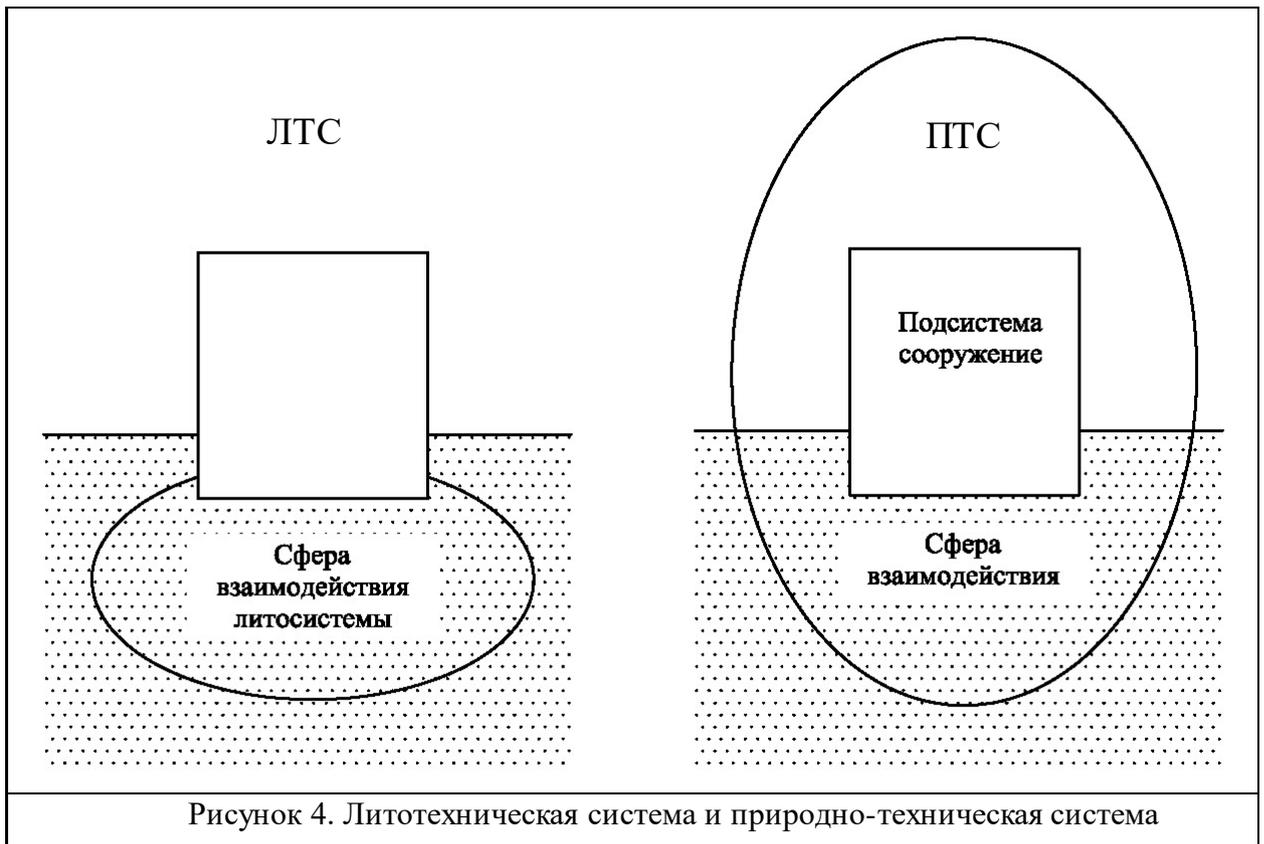


Рисунок 4. Литотехническая система и природно-техническая система

Так же как в случае с литотехническими системами Г.К.Бондарик выделяет несколько иерархических уровней для природно-технических систем: элементарные, локальные, региональные, национальные, глобальные ПТС.

Инженер-геолог в своей работе рассматривает объекты как литотехнические системы, тем самым ограничивая себя только изучение литосферы, такой подход применяется и в изучении исторических систем. В своих работах В.А. Королев, Н.В. Кузнецова (Демина) выделяет историческую литотехническую систему (ИЛТС) [48,49]. Под ИЛТС предлагается понимать целостное естественно-искусственное образование, представленное техническими объектами, являющимися особо ценными в историческом и культурном отношении зданиями, сооружениями и их ансамблями, возраст которых превышает 100 лет взаимодействующими друг другом и с геологическими массивами. Также как в теории литотехнических систем Г.К. Бондарика в ИЛТС присутствует четкая иерархия, выделяют элементарные, локальные и региональные ИЛТС.

Однако рассматривая памятник с точки зрения ИЛТС, мы искусственно ограничиваем себя тем, что не рассматриваем ничего, кроме памятника и геологической среды. В свою очередь, причины деформации исторических сооружений могут находиться в других средах и взаимодействиях. Поэтому на кафедре инженерной геологии МГРИ-РГГРУ изначально было выдвинуто понятие Исторической природно-технической системы (ИПТС) [87, 120].

Для исторических ПТС эти уровни также правомочны и, соответственно, выделяют элементарные ИПТС, которые включают два компонента – историческое сооружение (памятник) и сферу его взаимодействия с геологической средой. Локальные ИПТС, в которые включен комплекс исторических и архитектурных сооружений, сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются.

Комплексным изучением локальных архитектурных ИПТС занимались исследователи из МГРИ-РГГРУ (Пашкин Е.М., Дмитриев В.В., группа Романовой Е.И. (Купцов А.Г., Заботкина Л.В., Белова Г.С.), Пендин В.В., Невечеря В.Л., Подборская В.О.), компании ИГИТ (Кувшинников В.М., Пономарев В.В., Демкин И.А., Котов В.Ю., Бондарев М.В., Буфеев Ф.К. и др.), МГУ (Королёв В.А., Кузнецова Н.В.), МГСУ (Чернышев С.Н., Чернышев Н.С. и др.), ПНИИИСа (Дзекцер Е.С. и др.).

ГЛАВА 2. ЛОКАЛЬНЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В первой главе рассматривалось понятие исторических природно-технических систем (ИПТС), которое в настоящее время широко используется. Теория природно-технических систем (ПТС), разработанная Г.К.Бондариком [5,13], предлагает рассматривать несколько иерархических уровней ПТС, основными среди которых являются элементарные и локальные ПТС. Для исторических ПТС эти уровни также правомочны и, соответственно, выделяют элементарные ИПТС, которые включают два компонента - историческое сооружение (памятник) и сферу его взаимодействия с геологической средой, и локальные ИПТС, в которые включен комплекс исторических и архитектурных сооружений, сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются.

Понятие локальной ИПТС в настоящее время включено в ГОСТ-Р-55945-2014 [20]. Согласно ГОСТу [20] – локальные ИПТС – совокупность элементарных ПТС, сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются. Под это определение попадают исторически и композиционно связанные архитектурные ансамбли (храмовые комплексы, монастыри, кремли, усадьбы, фрагменты градостроительной застройки и др.), а также природно-антропогенные ландшафты.

В России в настоящее время согласно Государственной стратегии формирования системы достопримечательных мест, историко-культурных заповедников и музеев-заповедников в РФ [185] действуют на федеральном уровне 103 музея-заповедника и 41 музей-усадьба [187] (идентичное им по характеру деятельности учреждение, но имеющее, как правило, небольшую территорию) и все они могут и должны рассматриваться как локальные ИПТС.

По классификации локальных ИПТС, предлагаемой В.В.Пендиным с соавторами [108, 109], все локальные ИПТС подразделяют на три основные группы по соотношению и структуре основных охраняемых элементов – исторического ландшафта и памятников архитектуры. Первая – *ландшафтные*, вторая – *ландшафтно-архитектурные*, третья – *архитектурные* ИПТС. Наиболее многочисленной и значимой среди них являются архитектурные ИПТС. К этой группе относятся прежде всего обособленные архитектурные комплексы (монастыри, кремли, крепости, которые сейчас являются историческими центрами современных городов, либо существуют самостоятельно). Из общего федерального перечня музеев – заповедников и историко-культурных заповедников 41 (Таблица 1.) можно отнести к архитектурным ИПТС. Это – ансамбли Московского Кремля, Ростовский, Рязанский, Дмитровский, Новгородский кремль и др.

**Список федеральных историко-архитектурных музеев-заповедников,
рассматриваемых как локальные исторические природно-технические системы
(ИПТС)**

№	№ п.п.	Название	Площадь (га)	Время основания ИПТС (век)	К-во охран. объектов
1	1	Архангельская обл. Каргопольский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Соборная площадь	1,57	XVI	15
2	2	Соловецкий гос. историко-архитектурный и природный музей-заповедник Соловецкий монастырь	14,2	XV	38
3	3	Астраханская обл. Астраханский гос. объединенный историко-архитектурный музей-заповедник. Астраханский кремль	11,2	XVI	16
4	4	Владимирская обл. Гос. историко-архитектурный и художественный музей-заповедник "Александрова слобода"	6,2	XV	12
5	5 6	Гос. Владимиро-Суздальский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Исторический центр г. Владимира Исторический центр г. Суздаля	7,8 10,8	XII XI	11 23
6	7	Волгоградская обл. Гос. историко-этнографический и архитектурный музей-заповедник "Старая Сарепта"	7,1	XVIII	27
7	8	Вологодская обл. Вологодский гос. историко-архитектурный и художественный музей-заповедник (Вологодский кремль)	4,2	XVI	14
8	9	Великоустюгский гос. историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Истор. Центр Великого Устюга	>10	XVII	12
9	10 11 12	Кирилло-Белозерский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Кирилло-Белозерский монастырь Ферапонтов монастырь Горицкий Воскресенский монастырь	12,75 1,3 3,5	XIV XIV XVI	46 7 7
10	13	Тотемский музей-заповедник Исторический центр г.Тотьмы	3,6	XVII	8
11	14	Дагестан Дербентский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Цитадель Нарын-Кала	3,2	VII вв. до н. э.	
12		Ивановская обл.			

№	№ п.п.	Название	Площадь (га)	Время основания ИПТС (век)	К-во охран. объектов
	15	Плесский гос. историко-архитектурный и художественный музей-заповедник. Исторический центр г.Плеса	78	XVII	300
13	16	Ингушетия Джайрахско-Ассинский историко-архитектурный и природный музей-заповедник	64000	XV в.в. до н.э.	500
14	17	Карелия Валаамский научно-исследовательский церковно-археологический и природный музей-заповедник Валаамский монастырь	15	XIV	20
15	18	Гос. историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник "Кижы" Комплекс Спасо-Преображенского собора	0,6	XVIII	5
16	19	Костромской гос. объединенный историко-архитектурный музей-заповедник Спасо-Троицкий Ипатьевский мужской монастырь	3	XV	
17	20	Ленинградская обл. Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник "Парк Монтепо"	25	XVIII	14
18	21	Историко-археологический и архитектурно-художественный музей-заповедник "Старая Ладога"	0,7	IX—X в.в.	8
19	22	Государственный художественно-архитектурный музей-заповедник "Ораниенбаум"	7,7	XVIII	11
20	23	Москва Гос. музей-заповедник "Московский Кремль"	28	XII	34
21	24	Московская обл. Гос. музей-заповедник "Зарайский кремль"	2,2	XVI	11
22	25	Сергиев-Посадский гос. историко-художественный музей-заповедник Сергиево-Посадская Лавра	7,5	XIV	17
23	26	Музей-заповедник "Дмитровский Кремль"	6	XII	16
24	27	Нижегородская обл. Нижегородский историко-архитектурный музей-заповедник Нижегородский кремль	25,5	XVI	22
25	28	Новгородская обл. Новгородский гос. объединенный музей-заповедник Новгородский кремль	12,1	XI	13
26		Псковская обл.			

№	№ п.п.	Название	Площадь (га)	Время основания ИПТС (век)	К-во охран. объектов
	29	Псковский гос. объединенный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Псковский кремль	3,2	XI	17
27	30	Гос. историко-архитектурный и природно-ландшафтный музей-заповедник "Изборск" Изборская крепость	2,2	XIV	10
28	31	Старочеркасский историко-архитектурный музей-заповедник	0,6	XVIII	5
29	32	Рязанская обл. Рязанский гос. историко-архитектурный музей-заповедник Рязанский кремль	12	XV	23
30	33	Санкт-Петербург Историко-культурный музей-заповедник "Петропавловская крепость"	17	XVIII	39
31	34	Смоленская обл. Смоленский гос. исторический и архитектурно-художественный музей-заповедник Смоленский кремль	38,2	XVI	18
32	35	Татарстан Болгарский гос. историко-архитектурный музей-заповедник	7,2	XIV	15
33	36	Елабужский гос. историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Исторический центр г. Елабуги	492	XVIII	184
34	37	Историко-архитектурный и художественный музей-заповедник "Казанский кремль"	15	X	27
35	38	Тобольский гос. историко-архитектурный музей-заповедник Тобольский кремль	18	XVI	20
36	39	Ульяновская обл. Гос. историко-мемориальный музей-заповедник "Родина В.И.Ленина" Исторический центр г. Ульяновска	7,7	XVIII	20
37	40	Ярославская обл. Гос. музей-заповедник "Ростовский кремль"	4,3	XI	22
38	41	Переславль-Залесский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник Успенский Горицкий монастырь	2,8	XIV	13
39	42	Ярославский историко-архитектурный музей-заповедник Спасо-Преображенский монастырь	14,2	XII	26
40	43	Угличский историко-архитектурный музей Угличский кремль	3,4	XV	7

В числе первых объектов, рассматриваемых как локальные ИПТС, были архитектурные ансамбли Кирилло-Белозерского и Ферапонтова монастырей, входящие в состав Кирилло-Белозерского музея-заповедника, где, начиная с 1987 года, велись исследования сотрудниками кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ.

2.1. Локальные архитектурные ИПТС – структура и особенности

Рассмотрим структуру и основные особенности локальных архитектурных ИПТС.

Общая структура определяется отношениями элементарных ПТС, входящих в локальную в качестве её подсистем. В качестве структурных подразделений локальной архитектурной ИПТС предлагается рассматривать: элементарные ИПТС, природно-археологические системы (ПАС) культурного слоя [17], природно-трансформированные системы (ПТрС) водных и ландшафтных объектов, современные элементарные ПТС. Элементарные ИПТС, ПАС культурного слоя, ПИС водных и ландшафтных объектов являются охраняемыми и сохраняемыми, современные ПТС имеют функциональное назначение. Общая структурная схема архитектурных локальных ИПТС приведена на рисунке 5.



Элементарные ИПТС – главные структурообразующие компоненты локальной архитектурной ИПТС. Подсистемами «сооружения» элементарных ИПТС являются охраняемые исторические объекты разного назначения и возраста: культовые постройки (храмы, церкви, часовни), крепостные сооружения (стены и башни, рвы и валы), объекты разнообразного гражданского характера (дворцы, палаты, жилые здания, трапезные,

больничные комплексы и пр.) и хозяйственного назначения (поварни, ледники и пр.). Подсистемы «СВ» (сфера взаимодействия) элементарных ИПТС неодинаковы по формам и размерам, они пересекаются и формируют сложную по структуре и форме сферу взаимодействия локальной ИПТС.

Природно-археологическая система (ПАС) «культурного слоя» [17] выделяется в качестве охраняемой подсистемы локальной ИПТС. Культурный слой является непременным атрибутом любой исторической территории и рассмотрение его в качестве структурного компонента локальной ИПТС представляется необходимым. А.А. Никифоров [] называет его «специфическим естественнoисторическим образованием» учитывая то, что культурный слой с одной стороны является объектом охраны как памятник археологии, а с другой – частью грунтового основания памятников архитектуры.

Природно-трансформированные системы (ПТРС) водных и ландшафтных объектов в структуре архитектурных локальных ИПТС необходимо выделять в связи с тем, что на исторических монастырских и кремлевских территориях часто присутствуют водоемы и водотоки, имеющие смешанное происхождение – пруды, ручьи и речки с преобразованными и измененными руслами, а также элементы искусственно измененного природного ландшафта – спланированные склоны холмов, значимые элементы рельефа (склоны холма на территории Ново-Иерусалимского монастыря, Рязанского Кремля). Эти объекты на территориях архитектурных ансамблей играют подчиненную роль, в некоторых случаях, особенно на незначительных по площади территориях, их вообще нет, однако, там, где они присутствуют, они являются элементами исторической среды, охраняемыми объектами, а, следовательно, входят в структуру локальной ИПТС. Для локальных ИПТС, незначительных по площади (ИПТС Ферапонтова монастыря), расположенных на одном геоморфологическом элементе, где отсутствуют ландшафтные и водные объекты, выделение ПТРС не требуется.

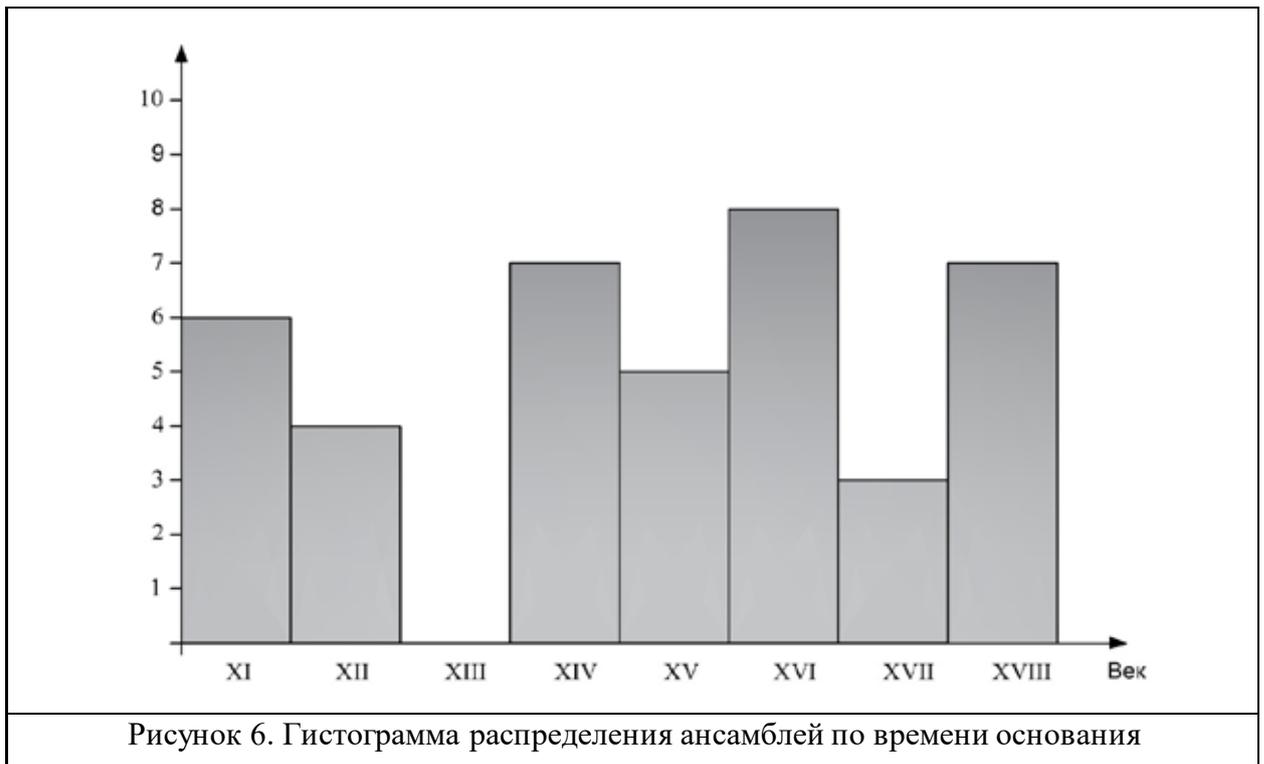
Современные ПТС в структуре локальных ИПТС являются функциональными системами. Они формируются разнообразными коммуникационными объектами (линии водопроводных и отопительных сетей и др.), объектами инженерной защиты (дренажные сооружения), объектами, необходимыми для ведения музейной деятельности. Они создавались целенаправленно для выполнения главного назначения локальной ИПТС – охраны и сохранения объектов культурного наследия.

Кроме общей структуры, локальные ИПТС характеризуются пространственной структурой, которая определяется взаиморасположением главных структурных компонентов ИПТС. Для локальных архитектурных ИПТС в подавляющем большинстве случаев характерна центристская пространственная структура, когда основные

элементарные ИПТС размещаются в ограниченном историческом ядре. Разный возраст создания исторических объектов говорит о многоэтапности формирования, изменении и усложнении структуры локальной ИПТС с течением времени.

Назначение. По современному определению музей-заповедники создаются для «обеспечения сохранности, восстановления, изучения и публичного представления целостных территориальных комплексов культурного и природного наследия, материальных и духовных ценностей в их традиционной исторической (культурной и природной) среде». [] Таким образом, функциональным назначением локальных ИПТС в настоящее время является охрана, сохранение и восстановление объектов культурного наследия для их изучения и публичного представления. Налицо произошедшее изменение функционального назначения любых локальных ИПТС. В свое время подсистемы «сооружения» создавались как градостроительные, монастырские и хозяйственные объекты, обеспечивающие бытовую и производственную, оборонительную деятельность и локальные ИПТС имели именно это назначение. Изменение функционального назначения меняет срок (практическая бесконечность) и режим функционирования (установившийся, приспособленный для наилучшей сохранности объектов и возможности музейного показа) элементарных ИПТС, характер и интенсивность взаимодействий в ИПТС.

Возраст и длительность существования локальных ИПТС определяется сроком начала освоения территории, который подтверждается летописными источниками, возрастом сохранившихся исторических сооружений и археологическими раскопками (культурный слой). Временной фактор является одной из главных особенностей всех ИПТС. [87, 121] Из 41 локальных архитектурных ИПТС 29 (более 50%) имеют возраст более 300 лет (рис. 6) Возраст определяет историческую ценность сооружений, а также во многом степень их сохранности. Чем древнее сооружение, тем оно ценнее, тем больше степень износа материала строительных конструкций [87, 125], меньше запас прочности объекта.



Локальные ИПТС характеризуются тем, что в своем составе они имеют разновозрастные элементарные ИПТС и ПТС, которые взаимодействуют между собой и чем старше подсистема «памятнику», тем сложнее эти взаимодействия.

Границы локальной ИПТС определяются границами сфер взаимодействия входящих в нее структурных элементов – прежде всего элементарных ИПТС. «Теоретически границы ПТС определяет поверхность, огибающая все области взаимодействия её систем-компонентов» [5,12,13] Границы могут быть расчётными (границами зон развития инженерно-геологических процессов), резкостными, комбинаторными. Формально, границами можно считать законодательно установленные границы охранной зоны ансамбля.

Взаимодействия в локальной ПТС наряду с естественными взаимодействиями реализуются и прямые(техногенные) и косвенные (техноплагенные) взаимодействия.

2.2. Дополнения к классификации локальных ИПТС

В общей классификаций локальных ИПТС, разработанной В.В. Пендиным и др. [108,109], выделяются семь иерархических уровней (таблица 2). Для локальных архитектурных ИПТС, выделяемых на первом уровне по основному охраняемому элементу, у которых искусственная подсистема представляет собой комплексы памятников архитектуры с подчиненным ландшафтом, представляется целесообразным дополнить общую классификацию дополнительными иерархическими уровнями. А именно:

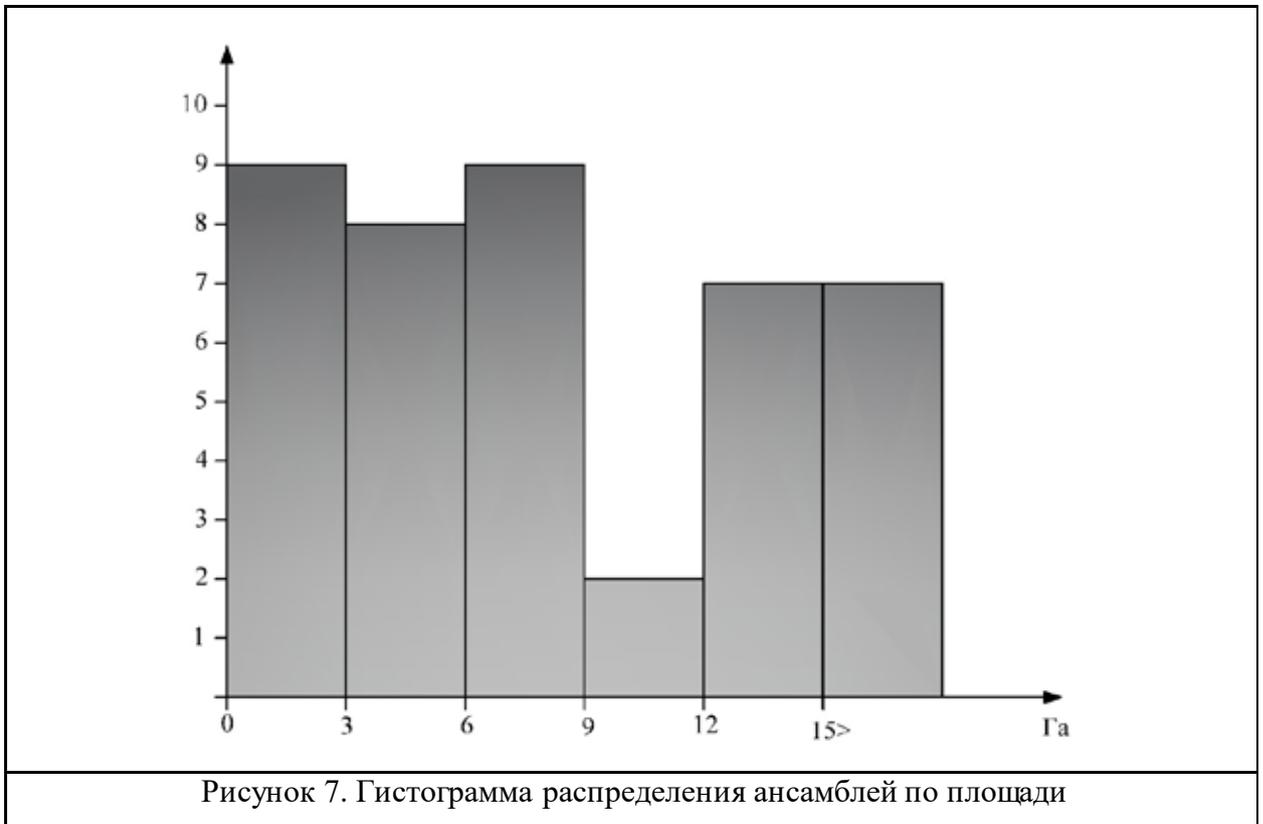
Таблица 2

Классификация локальных архитектурных исторических природно-технических систем

Локальные архитектурные ИПТС							
I. По первоначальному назначению или обустройству территории							
Участки исторической городской застройки				Обособленные территории			
II. По времени образования							
До раннего средневековья включительно (более 600 лет)				От средневековья (менее 600 лет)			
III. По интенсивности взаимодействия с техносферой в настоящее время							
Низкая по интенсивности техногенная нагрузка				Значительная по интенсивности, разнообразная по виду техногенная нагрузка			
IV. По занимаемой площади							
большие		средние			малые		
V. По наличию водных и ландшафтных объектов							
Присутствуют				Отсутствуют			
VI. По генетическим категориям рельефа							
Гравитационный	Делювиальный	Флювиальный (созданный постоянными и временными водотоками)	Ледниковый	Водноледниковый (флювиогляциальный и лимногляциальный)	Биогенный	Озерного происхождени я	Морского происхождения
VII. По степени сложности строения подсистемы «СВ»							
Простое		Средней сложности			Сложное		

По занимаемой площади. Критерием служит площадь территории, занимаемая обособленной архитектурной ИПТС. Площадь ансамбля определяет во многом сложность и многогранность структуры локальных ИПТС (количество элементарных ИПТС и ПТС, количество и сложность ПИС).

Границы локальной ИПТС определяются границами сферы взаимодействия (границами зон развития инженерно-геологических процессов). Однако, формально, границами можно считать законодательно установленные границы охранной зоны ансамбля. Площадь 41 архитектурно-исторического ансамбля музеев-заповедников из государственного списка изменяется от 1,3 (Ферапонтов монастырь Кирилло-Белозерского музея-заповедника) до 25,5 га (Нижегородский кремль) (таблица 1). Распределение количества ансамблей по площади в форме гистограммы приведено на рисунке 7.



Исходя из содержательного анализа гистограммы, предлагается выделять по площади: большие (больше 9 га), средние (3-9 га), малые (менее 3 га).

Наличие водных или ландшафтных объектов на территории ансамблей, рассматриваемых как отдельные природно-трансформированные системы, на территории историко-архитектурных комплексов значительно усложняет структурное строение локальной ИПТС, а также характер взаимодействий в подсистеме «СВ». Это требует особой методики исследований взаимодействий элементарных систем.

Ярким примером локальной ИПТС с присутствием водных и ландшафтных объектов может служить локальная ИПТС Ново-Иерусалимского монастыря, для которой обеспечение устойчивости склонов, входящих в СВ крепостных стен, присутствующие на территории родники, пруды, сделали необходимым проведение целого комплекса многолетних исследований и дорогостоящих защитных мероприятий, позволивших вывести локальную ИПТС на режим устойчивого функционирования [87].

Предлагаемая схема классификации локальных архитектурных ИПТС приведена в таблице 2. Примеры классификации локальных ИПТС Кирилловского района Вологодской области для архитектурных ансамблей Кирилло-Белозерского, Ферапонтова, Горницкого и комплекса зданий ГБЛ монастырей приведены в таблице 3.

Выводы ко второй главе

1. Действующие в России музеи-заповедники, историко-архитектурные заповедники должны рассматриваться как локальные исторические природно-технические системы (ИПТС), что подтверждается положениями ГОСТ.
2. Группа локальных архитектурных ИПТС является наиболее многочисленной и значимой среди выделяемых локальных ИПТС, что подтверждает существующая выборка из общего перечня федеральных музеев-заповедников – 41 из них относятся к архитектурным локальным ИПТС.
3. Функциональным назначением локальных ИПТС в настоящее время является охрана, сохранение и восстановление объектов культурного наследия для их изучения и публичного представления. Произошло изменение функционального назначения любых локальных архитектурных ИПТС – в свое время они создавались как градостроительные, монастырские и хозяйственные комплексы, обеспечивающие религиозную, бытовую и производственную, оборонительную функцию.
4. Общая структура локальных архитектурных ИПТС включает в себя следующие структурные подразделения: элементарные ИПТС, природно-археологические системы (ПАС) культурного слоя, природно-трансформированные системы (ПТРС) водных и ландшафтных объектов, современные элементарные ПТС. Элементарные ИПТС, ПАС культурного слоя, ПТРС водных и ландшафтных объектов являются охраняемыми и сохраняемыми, современные ПТС имеют функциональное назначение.
5. Временной фактор является одной из главных особенностей всех ИПТС. Из 41 локальных архитектурных ИПТС, более 50% имеют возраст старше 300 лет.

Локальные архитектурные ИПТС характеризуются тем, что в своем составе они имеют разновозрастные элементарные ИПТС и ПТС, которые взаимодействуют между собой, и чем старше подсистема «памятник», тем сложнее эти взаимодействия.

6. Особенности структуры локальных архитектурных ИПТС позволяют дополнить общую классификацию локальных ИПТС. Предлагается ввести для классификации локальных архитектурных ИПТС в общую классификацию дополнительные иерархические уровни – по занимаемой площади и наличию водных и ландшафтных объектов. Приведена схема классификации локальных архитектурных ИПТС и примеры её применения.

Таблица 3

Примеры классификации архитектурных локальных ИПТС

ИПТС	Уровни классификации (признаки-основание)						
	Назначение, обустройство	Время образования	Взаимодействие с техносферой	По занимаемой площади	По наличию водных и ландшафтных объектов	Генетические категории рельефа	Степень сложности строения подсистемы «СВ»
Кирилло-Белозерский монастырь 	Обособленная территория	От средневековья (1398 г.)	Низкая по интенсивности современная техногенная нагрузка	большая	Присутствуют	Характеризуется ледниковым и водно-ледниковыми типами рельефа (g, f, g)	Сложное строение «СВ» -выделено 14 ИГЭ, 2 водоносных горизонта, процессы пучения, разрушения свай, подсоса влаги в стены
Горицкий монастырь 	Обособленная территория	От средневековья (1548 г.)	Низкая по интенсивности современная техногенная нагрузка	средняя	Присутствуют	Характеризуется ледниковым и водно-ледниковыми типами рельефа (g, f)	Средней сложности строение «СВ»- выделено 5 ИГЭ, 1 постоянный ВГ, процессы пучения, подсос влаги в стены, переработки берегов водохранилища (3)
Ферапонтов монастырь	Обособленная территория	От средневековья	Низкая по интенсивности	малая	Отсутствуют	Характеризуется ледниковым	Простое.

ИПТС	Уровни классификации (признаки-основание)						
	Назначение, обустройство	Время образования	Взаимодействие с техносферой	По занимаемой площади	По наличию водных и ландшафтных объектов	Генетические категории рельефа	Степень сложности строения подсистемы «СВ»
		(1398 г.)	современная техногенная нагрузка			типом рельефа (g)	«СВ»- выделено 3 ИГЭ, постоянного ВГ нет, процессы пучения, подсос влаги в стены (2)
Государственная библиотека им. В.И.Ленина (ГБЛ) 	Участок исторической городской застройки	От средневековья	Значительная по интенсивности, разнообразная по виду техногенная нагрузка	малая	Отсутствуют		Сложное строение «СВ», выделены 15 ИГЭ, постоянный ВГ и напорный ВГ, процессы техногенной суффозии, карста (3)

ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКАЛЬНОЙ ИПТС КИРИЛЛО-БЕЛОЗЕРСКОГО МОНАСТЫРЯ

Кирилло-Белозерский монастырь в настоящее время является ядром Кирилло-Белозерского историко-архитектурного музея-заповедника, созданного в 1923 году. На сегодняшний момент времени в состав музея-заповедника, кроме архитектурного ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря, входят в качестве филиалов памятники Ферапонтова монастыря, музейный комплекс Цыпино, музей истории города Кириллова, музей-квартира В.И. Белова [45].

С 80-х годов XX в. кафедра инженерной геологии МГРИ-РГГРУ по инициативе директора музея-заповедника Н.И. Терентьевой, и профессора д.г.-м.н. Е.М. Пашкина начала заниматься проблемами сохранения памятников архитектуры Кирилло-Белозерского музея-заповедника и диагностики инженерно-геологических причин деформаций исторических сооружений. С самого начала работ памятники рассматривались как подсистемы элементарных исторических природно-технических систем [76,77], а архитектурные монастырские ансамбли как локальные ИПТС. В исследовательских работах на территории музея-заповедника принимали активное участие профессора В.В. Пендин, В.Л. Невечера, доцент В.О. Подборская, сотрудники кафедры С.Л. Нефёдов, С.А. Курманенко, Н.М. Чернявский, студенты и аспиранты разных лет.

Применение «Концепции раннего предупреждения...» требует информации системного характера о локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, инженерно-геологических условиях территории, прилегающей к монастырю. На основании анализа и обобщения опубликованных и фондовых материалов [76-79,93,94,112,117-119,167-181] ниже приводится характеристика локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, которую предваряет очерк инженерно-геологических условий территории Кирилловского района.

Материалы для характеристики инженерно-геологических условий района взяты из отчетов Ленинградской комплексной геологоразведочной экспедиции (ЛКГЭ), комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1:50 000 для целей мелиоративного строительства Кирилловского и Белозерского районов [166], а также материалов работы международного симпозиума по проблемам стратиграфии четвертичных отложений и краевых ледниковых образований Вологодского региона (Северо-Запад России) [124].

3.1. Очерк инженерно-геологических условий окрестностей Кирилло-Белозерского монастыря

Кирилло-Белозерский монастырь расположен на территории г. Кириллова (1776 и/ Кирилловского района Вологодской области, находящимся в 128 км от г. Вологды. Население г. Кириллова по состоянию на 2016 г. составляет 7 433 тыс. жителей (по данным государственного мониторинга «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2016 года») [189]. Площадь городской территории составляет 4,7 км².

Город Кириллов и Кирилловский район характеризуется низким уровнем техногенной нагрузки, создаваемой различными источниками. Это связано с низким уровнем промышленного развития района и малочисленным населением района (15 122 жителей по данным государственного мониторинга «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2016 года») [189].

Кириллов является центром национального парка «Русский Север», созданного в 1991 году. В городе расположен Кирилло-Белозерский историко-архитектурный музей-заповедник, памятник федерального значения, который посещают порядка 250 тысяч туристов в год [45].

Значительное загрязнение окружающей среды происходит из-за отсутствия в городе:

- магистрального газоснабжения. Отопление производится с помощью котелен, работающих на угле. Происходит выброс продуктов сгорания в атмосферу;
- централизованной канализационной системы. Сброс сточных вод, в том числе и сток навозных вод с ферм, сток с полей производится в местные водоемы, в том числе и в Сиверское озеро, приводит к их загрязнению.

Наибольшее негативное влияние на окружающую среду в районе оказало строительство Северо-Двинского водного пути. В результате строительства произошло повышение уровня воды в реках, озёрах, отмечается подтопление и заболачивание значительных участков территории, в том числе и территории ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря, расположенного на северном берегу Сиверского озера.

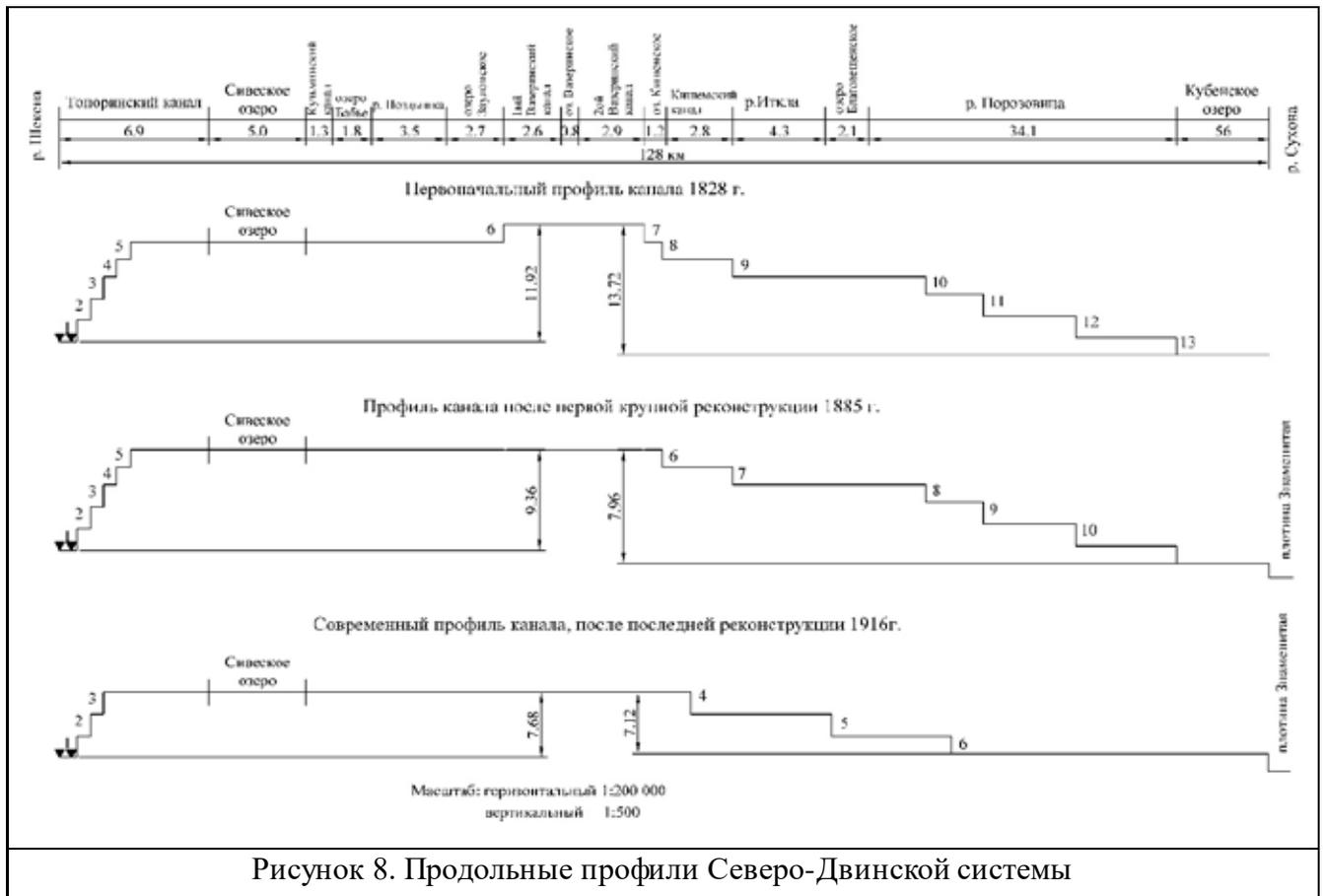
Северо-Двинский водный путь является одной из старейших гидротехнических систем на территории современной России. Он соединяет реки Шексну и Сухону. Начинается от населённого пункта Топорня на Шексне (664—665 км Волго-Балтийского водного пути) и проходит до посёлка Знаменского исток Сухоны [74,136,167].

Северо-Двинский водный путь, в верхний бьеф которого входит Сиверское озеро, общей протяжённостью 127 км, строительство канала было закончено к лету 1828 года. Император Николай I повелел присвоить каналу имя герцога Вюртембергского [136].

Северо-Двинская система состоит из многочисленных озёр и небольших рек, которые были соединены между собой каналами и объединены с помощью гидротехнических сооружений (шлюзов, плотин) в искусственный судоходный путь. Строители системы максимально использовали существующий рельеф и гидрологические особенности территории [136, 167].

В 1882-1885 г.г. прошла первая реконструкция гидротехнической системы, необходимость которой диктовалась изменением размеров судов и приведения в соответствие шлюзов Северо-Двинской системы с их размерами. С этой целью были проведены дноуглубительные работы в каналах и ликвидированы четыре шлюза, расширен верхний бьеф системы, который стал

включать участок от верхнего шлюза Топорнинского канала до шлюза на реке Итка (в том числе и Сиверское озеро) (рис.8).



В 1916 году во время Первой Мировой войны была проведена вторая (и последняя) крупная реконструкция системы. Для улучшения питания системы водой была введена в отдельный бьеф река Итка, а также образованы дополнительные водохранилища из озёр Ферапонтовское и Бородаевское.

После революции канал был переименован в Северо-Двинский водный путь, его транспортное значение сначала достаточно большое в послевоенное время стало слабеть и к началу XXI в. стало практически равно нулю. Система не входила в Единую глубоководную сеть Европейской части страны, полностью устарела технически – после 1916 года на объектах велись только поддерживающие ремонтные работы, и это сделало её уникальным историческим объектом, работающим в режиме и материалах начала XX века.

В настоящее время по трассе водного пути ведутся масштабные ремонтные работы согласно программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 – 2020 годах». В рамках этой программы происходит реконструкция шлюзов, выделение вокруг гидротехнических сооружений охраняемой территории, а также замена деревянных конструкций на металлические. По её завершению, гарантированная глубина увеличится до 2,5 м, будут полностью реконструированы (фактически, построены заново) все шлюзы. Таким образом,

историческая ценность гидротехнической системы будет утрачена, а параметры и пропускная способность шлюзов и каналов останутся на прежнем уровне [70, 72].

По климатическим условиям район характеризуется умеренно-континентальным климатом и находится в зоне избыточного увлажнения. По многолетним метеоданным [134,169] средняя температура января составляет $T_{ян} = -11,3^{\circ}\text{C}$, июля $T_{июл} = +17^{\circ}\text{C}$, средняя температура $T_{ср} = +2,2^{\circ}\text{C}$. Продолжительность безводного периода 122 дня. Среднее многолетнее количество осадков за год составляет 554 мм, причем 20-30% составляют осадки в виде снега. Общий объём испарения составляет 350 мм. Всего за год насчитывается, в среднем, 200 дней с осадками. Снежный покров в районе г.Кириллова держится, в среднем, 168 дней, мощность его составляет 50-55 см. Глубина промерзания грунта под снегом достигает 90 см. На территории района преобладают ветры западного направления.

Гидрография. Окрестности Кирилло-Белозерского монастыря входят в Белозерско-Кирилловский гидрологический район [167], который характеризуется хорошей дренированностью, развитием большого количества небольших рек и озёр. Характерная особенность района – большое количество озёр, часть которых – Сиверское, Долгое, Егорьевское, Святое – расположены в древней долине стока ледниковых вод и связаны между собой мелкими узкими протоками, по которым происходит сток из северных озёр в южные. Другие озера – Покровское, Бабье, Зауломское, Пигасово, Вазеринское – располагаются в пониженных участках мелко-холмисто-рядового моренного рельефа и входят в состав Северо-Двинской водной системы.

Озеро Сиверское, на северном берегу которого располагается г.Кириллов, самое крупное из всех озёр района, площадь зеркала воды озера – 957 га, объём водной массы 89,7 млн. м³, площадь водосбора 112 км², средняя глубина 9,1 м [168].

Генетический тип озерной котловины Сиверского озера – ложбинно-рытвенное, проточное озеро. Берега озера в северной и западной частях возвышаются над уровнем воды на 30-50 м, южный и восточный берега более пологие, местами заболоченные. Вода в озере средней группы минерализации, воды гидрокарбонатно кальцевые, рН = 7,9. Колебания уровня воды в Сиверском озере связаны с работой Северо-Двинской гидротехнической системы, в верхний бьеф которой входит водоём. Максимальная амплитуда колебания уровня составляет 1,83 м [769].

Естественный гидрологический режим существующих озёр нарушен техногенной деятельностью: строительством Северо-Двинской системы, водозабором из озёр Святое и Сиверское, непродуманным ведением мелиоративных работ, захлаплением берегов, сбросом сточных вод. В результате происходит зарастание и обмеление водоемов, так как нарушается их

проточность. Озеро Долгое в настоящее время обмелело до метровой глубины и интенсивно «зарастает».

Геоморфология и рельеф. Город Кириллов расположен на юге одноименной гряды, являющейся частью главного конечно-моренного пояса, который включает в себя краевые образования осташковского оледенения в максимальную фазу его развития на территории Вологодской области [124].

В геоморфологическом отношении Кириллов и Кирилло-Белозерский монастырь располагается на границе ландшафтных районов: района Белозерско-Кирилловской моренно-напорной гряды и района Средне-Шексинской низины. Основные черты современного рельефа сформированы в московское ледниковье. Все ледниковые формы, свойственные краевым образованиям, присутствуют в разнообразных сочетаниях.

Территория характеризуется контрастным холмисто-озерным рельефом с абсолютными отметками поверхности от 113,0 м до 170,0. Здесь широко развиты моренные холмы и гряды, камы, озы, флювиогляциальные дельты, ложбины стока талых вод.

Характерной особенностью рельефа является сочетание краевых гряд московского и осташковского оледенений, наложением вторых на первые. В результате, основные положительные формы современного рельефа сформировались на приподнятом цоколе, сложенном московской мореной, а отрицательные – котловины и ложбины унаследованы с доосташковского времени.

В геологическом строении Кирилловского района принимают участие архейские, палеозойские и кайнозойские породы. [166]. В связи со спецификой работы рассматривается толща мощностью до 100 м.

Пермская система вскрыта на территории района серией картировочных и гидрогеологических скважин на глубинах более 40 м. Отложения пермской системы залегают субгоризонтально со слабым наклоном на юго-восток. Максимальная мощность пермских отложений по данным бурения составляет 98,3 м. Пермская система в районе г. Кириллова представлена нижним и верхним её отделами, залегающими со стратиграфическим несогласием.

Отложения пермской системы представлены: доломитами, прослоями огипсованными и окремнелыми, мергелем, глинистыми известняками, алевролитами, глинами зеленовато-серыми, известняками, органогенными известняков и микропористыми доломитами, песчаниками и аржиллитами со щелями выщелачивания от гипса.

Четвертичные отложения района представлены сложным комплексом ледниковых, флювиогляциальных, озерных, аллювиальных и болотных образований различного возраста – от средне-четвертичных до современных, залегающих горизонтально друг на друге.

Мощность четвертичной системы изменяется в широких пределах. В Средне-Шекснинской низине она минимальна для изученной территории и не превышает 25 м. На Белозерско-Кирилловских грядах максимальные величины антропогенной толщи достигают 80-103 м и приурочены здесь к древним переуглубленным долинам или к зонам повышенной аккумуляции конечно-моренного пояса [124]. Схематическая карта четвертичных отложений представлена на рисунке 9.

Отложения московской морены gIms – имеют повсеместное распространение, являются рельефообразующими, слагающими все самые крупные формы рельефа. Они представлены коричневыми, реже (при большой мощности) серыми, плотными суглинками и супесями с различными по объему (от 10 до 40% содержанием гравийно-галечникового и валунного материала). Мощность морены изменяется от 10 до 20 м. Залегают моренные отложения на известняках пермского возраста казанского яруса (P₂kz).

Нерасчленёнными межморенными отложениями Ims-IIIvd, представленными озерными отложениями *Ims-IIIvd*, для которых характерны частые переходы одних литологических разновидностей в другие. В районе Кириллова это выдержанная в разрезе достаточно мощная (до 20,0 м) толща, залегающая на ледниковых отложениях московской морены.

В районе, прилегающим к монастырю, *отложения волдайской морены gIIIvd* имеют мощность до 20 м, незакономерное распространение - на некоторых участках, в частности, в районе южной оконечности Сиверского озера, зафиксировано отсутствие ледниковых отложений. Отмечается увеличение мощности ледниковых отложений в северном направлении (вдоль восточного берега Долгого озера).

В составе ледниковых отложений доминируют коричневые валунные суглинки, содержащие от 8 до 15% крупнообломочного материала. Подошва волдайской морены фиксируется на а.о. 90, -100,0 м.

Подстилагся морена часто подледниковыми флювиогляциальными отложениями.

Флювиогляциальные отложения (fIIIvd) слагают разнообразные формы рельефа в окрестностях Кириллова: камы, озы, выстилают ложбины стока талых вод, встречаются в виде линз в толще морены. Наибольшие мощности флювиального материала, до 10-12 м, приурочены к долинным зандрам, камам и озам. В литологическом отношении флювиогляциальные отложения представлены разнозернистыми грубыми гравийно-галечниковыми песками с характерной для потоковых образований сложной слоистостью.

Озерно-ледниковые отложения (lgIIIvd) представлены фациями ледниковых водоёмов различного типа: озёр межхолмовых западин, озёр, приуроченных к ложбинам стока талых вод, полупогребённым или подпруженным долинам доосташковской речной сети, а также

внутриледниковым озёрным образованиям. В литологическом отношении это глинистые осадки с массивной текстурой и с тонкой слоистостью ленточного типа.

Перегляциальные отложения, (prIIIvd) известные в литературе как «покровные суглинки». Представлены коричневыми суглинками, переходящими в серые, в переходной зоне желтовато-серыми. Отложения характеризуются лёссовидностью, отсутствием слоистости, наличием столбчатой отдельности, сравнительной однородностью механического состава в вертикальном разрезе и по простиранию, покровным характером залегания. Мощность покровной толщи изменяется от нескольких десятков сантиметров до 4-6 м.

Современные отложения широко распространены и представлены следующими генетическими типами: болотными (h), озёрными (l), озёрно-аллювиальными осадками (la). В Кирилловском районе наибольшее распространение имеют отложения болотного генезиса, представленные торфянистыми толщами сложного строения, мощность которых достигает 5-6 метров.

Гидрогеологические условия. Территория Кирилловского района расположена в северо-восточной части Московского артезианского бассейна и характеризуется следующими основными особенностями:

1. Преобладанием осадков над испарением, что способствует заболачиванию и переувлажнению.
2. Существенной глинистостью четвертичной толщи с преимущественным развитием слабопроницаемых, слабоводоносных и водоупорных горизонтов.
3. Значительной огипсованностью пермских отложений и соответственно широким развитием солоноватых сульфатных вод.
4. Близким залеганием солоноватых вод от поверхности (0-70 м) и необеспеченность территории пресными подземными водами для водоснабжения.

В гидрогеологическом разрезе района выделяются подземные воды четвертичных отложений, для которых движение происходит от водоразделов к долинам рек, низинам или древним долинам. Питание на первых десятках метров разреза осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а горизонты аллювиальных и озёрных отложений в паводок пополняются поверхностными водами. Наиболее благоприятные условия питания горизонтов грунтовых вод развиты на морене, для них области питания совпадают с областями распространения. Водоносные горизонты, залегающие под мореной, получают питание в основном на водоразделах.

На территории Кирилловского района развиты следующие экзогенные геологические в том числе инженерно-геологические процессы: оврагообразование, подмыв и обрушение берегов, подтопление, заболачивание, морозное пучение.

Оврагообразование происходит на крутых 10-15° участках склонов, на склонах глубоковрезанных речных долин, а также на крутых склонах озёрных котловин озёр Азатское и Сиверское.

Подмыв и обрушение берегов наблюдается на склонах озёрных котловин озёр Азатское и Сиверское, в долинах реки Шексны, а также по трассе Северо-Двинской системы. Все эти явления являются, в основном, следствием действия ударной волны от активного судоходства по Северо-Двинскому и Волго-Балтийскому водным путям.

Процесс подтопления имеет достаточно широкое развитие. На изучаемой территории он связан в основном с вводом в эксплуатацию Шекснинской ГЭС (1966 г.) и со строительством в 1825 году Северо-Двинской водной системы. В результате произошло повышение уровня во многих реках и озёрах местности, значительно усугубив процесс заболачивания.

Заболачивание. Болота, торфяники, переувлажненные и заболоченные участки занимают на изученной территории около 25-30%. Связано это, как с метеорологическим фактором – преобладанием осадков над испарением, так и с особенностями рельефа: преобладанием с поверхности тяжелых грунтов со степенью влажности 90-100%, малыми (до 30°) уклонами поверхности, слабой расчлененностью рельефа (менее 0,25 км/км²). Кроме того, повышение уровня р.Шексны также неблагоприятно повлияло на заболоченность территории, что видно на примере междуречья рек Свияги и Шексны.

Главное место в ряду геологических процессов *занимает морозное пучение* грунтов при их сезонном промерзании, затрагивающих основания фундаментов многих памятников русской архитектуры. Развитие, этого неблагоприятного процесса связано с комплексом факторов, в общем характерных для территории Русского Севера [79]. Низкие температуры, в зимний период сменяемый достаточно тепле лето, большое количество осадков в виде снега, высокий уровень грунтовых вод, присутствие моренных и покровных отложений, представленных в основной массе пылевато-глинистыми грунтами с высокой предзимней влажностью – все это вместе служит совершенным субстратом для развития морозного пучения. Промерзание и оттаивание дисперсных грунтов, вызванные сезонным изменением температуры воздуха, сопровождается заметным увеличением содержания в них влаги. В период промораживания такие грунты образуют отдельные включения льда, определяющие процесс морозного пучения.

Анализируя общие особенности инженерно-геологических условий территории можно сказать:

- окрестности Кирилло-Белозерского монастыря и города Кириллова характеризуются сложным геолого-геоморфологическим строением, обусловленным нахождением здесь краевого образования валдайского оледенения в максимальную фазу его развития;
- в окрестностях г.Кириллова широко развиты большинство ледниковых форм рельефа, свойственных краевым образованиям, а именно моренные холмы, гряды, озы, камы, ложбины стока;
- в стратиграфическом отношении до глубины 100 м в разрезе представлены отложения четвертичного возраста, включая горизонты московской и валдайской морены;
- весь генетический ряд отложений, связанных с прохождением ледника (ледниковые, флювиогляциальные, озёрно-ледниковые), встречается в окрестностях Кириллова, характеризуясь значительной изменчивостью литологического состава в латеральной плоскости и по разрезу;
- многообразие генетических типов четвертичных отложений и изменчивый характер залегания делает необходимым тщательное изучение разреза в конкретных условиях.

3.2 История функционирования локальной исторической ПТС Кирилло-Белозерского монастыря

Для характеристики этапов функционирования локальной ПТС Кирилло-Белозерского монастыря необходимо знать историю монастыря, этапы создания архитектурного ансамбля.

3.2.1 Краткая история создания архитектурного ансамбля

Датой основания Кирилло-Белозерского монастыря считается 1397 год. Его основал московский монах Симонова монастыря будущий преподобный Кирилл [45,46,57].

Территория Кирилло-Белозерского монастыря подразделяется на территорию Успенского и Ивановского монастырей и Нового города. (рис. 10)

В настоящее время в архитектурный ансамбль монастыря входят сооружения XV-XVIII веков разного назначения, режима эксплуатации, на территории монастыря насчитывается более 40 объектов культурного наследия [150]. В таблице 4 приведен список охраняемых архитектурных объектов по выделенным территориям.

Самое начало истории монастыря связано с «Ивановской горкой» - холмом, на склоне которого преподобный Кирилл устроил себе земляную келью и поставил крест. Затем, основная деятельность была перенесена на соседний холм, более обширный и удобный, и там была выстроена первая деревянная церковь монастыря – церковь Успения Пресвятой Богородицы [46,150].



Рисунок 10. Схема расположения памятников Кирилло-Белозерский монастырь [186]

Архитектурно-строительная история монастыря тесно связана с его общей историей. Авторитет насельников монастыря, начиная с преподобного Кирилла, был таким, что великие князья обсуждали с ними многие важнейшие вопросы государственной и церковной жизни XV-XVII в.в. Благословление Василия Темного на великое княжение в 1447 году игуменом монастыря Трифоном и его иеромонахами, сделало монастырь особо почитаемым для великокняжеской семьи [46,57]. Это обстоятельство отразилось в богатых денежных вкладах на обустройство обители и строительство храмовых построек. В XVI-XVII в.в. Кирилло-Белозерский монастырь был одним из самых богатых монастырей России. [57] По периметру монастыря в конце XVI века были выстроены крепостные сооружения, которые позволили защитникам монастыря выдержать осаду отрядов польско-литовских войск во время Великой Смуты. Великая государева крепость – так называл патриарх Никон Кирилло-Белозерскую обитель [46].

Угасание монастыря началось в XVIII веке. В конце XIX в. в год 500 -летия монастыря в штате состояло 22 послушника (в XVI веке – 180 человек братии [57,136]).

В 1919 году монастырь был закрыт. В 1924 году на его территории был создан музей-заповедник. На территории монастыря, кроме музея, в 50-80 годы XX века размещались общежития для студентов Кирилловского культпросветучилища, школа-интернат и другие организации [45].

В настоящее время территория и памятники КБМ находятся в пользовании музея-заповедника (Успенский монастырь, Новый город) и церкви (Ивановский монастырь). Музей-заповедник посещают в год до 350 000 экскурсантов [45].

В истории строительства монастыря [46,57,150] выделяют два этапа: период деревянного строительства (конец XIV – конец XV веков, сооружения деревянного зодчества не сохранились) и период каменного строительства (с конца XV века). Также, в истории строительной хозяйственной деятельности, выделяют следующие этапы [77]:

1. Первоначальный период (1397–1497 г.г.) Освоение территории, строительство деревянных сооружений.
2. Интенсивное развитие (1497–1685г.г.). Активная строительная и природоустроительная деятельность. Строительство каменных сооружений разного назначения.
3. Стагнация монастыря (1685–1923 г.г.). Свертывание и упадок строительной и хозяйственной деятельности.
4. Музеефикация (1923 г. – настоящее время). Активная реставрация и приспособление памятников для музейного использования.

Первой каменной постройкой в монастыре был Успенский собор, возведенный на месте деревянной церкви на Успенском холме в 1497 году. Комплекс Успенского собора в настоящее время включает ц. Владимира (1554), ц.Епифания (1645), ц.Кирилла (1789) [150].

В 1519 году была возведена Трапезная палата с церковью Введения. В 1531-1532 г.г. на вклад великого князя Московского Василия в монастыре выстроены церкви Архангела Гавриила (1534) и Иоанна Предтечи (1534).

Главный вход в Успенский монастырь (Большой) был устроен через Святые ворота (1523), над которыми позже была возведена церковь Иоанна Лествичника (1572). Эти сооружения явились частью монастырской крепостной ограды, включавшей в себя Казенную палату (1523, 1572). Сохранившиеся крепостные стены были возведены последней четверти XVI века. Общая длина крепостных стен составляла более 1000 метров. Стены Успенского монастыря двухъярусные, высотой до 5,2 м, шириной 1,5 м. Крепостные стены Ивановского монастыря имели другие параметры: высота стен– 4 м, ширина около 1 м, имели только один ряд амбразур.

На углах стен стояли шесть башен различной формы. Из башен Старого города сохранились башни, выходящие к Сиверскому озеру – Поваренная, Хлебная, Свиточная, Котельная. Мереженная башня сохранилась частично.

Последняя постройка, относящаяся к XVI веку – церковь Преображения, выстроенная в 1595 году над Водяными воротами, выходящими к Сиверскому озеру.

Охраняемые архитектурные объекты на территории Кирилло-Белозерского монастыря

Месторасположение	Назначение сооружений	Название, время постройки
Успенский монастырь	Культовые сооружения	Успенский собор (1497), Ц. Владимира (1554), Сев. Паперть (XVI в), Ц. Епифания (1645), Ц. Кирилла (1785), Ц. Введения (1519), Ц. Архангела Гавриила (1531-1534), Ц. Иоанна Лествичника над святыми воротами (1569-1572), Надвратная церковь Преображения (1595), Ц. Евфимия с трапезной (1646), Колокольня (1757-1761).
	Гражданские сооружения	Трапезная палата (1519), Казенная палата, Сушило (XVI в.), Монашеские кельи (Братский корпус), Духовное училище (1647-1648), Домик келаря (XVII в.), Кельи (мон. архив), Священнические кельи, Архимандричьи палаты (XVIIв.), Большие Больничные палаты (1644).
	Хозяйственные сооружения	Поварня (XVI в.), Поваренные кельи (XVIIв.).
	Оборонительные сооружения	Крепостные стены (XVI в.), Свиточная башня (1591), Малая Мереженная, Грановитая башни (XVIв), Рыболовецкая палатка (XVIIв.), Хлебная башня(1621-1668), Поваренная башня (XVIIв).
Ивановский монастырь	Культовые сооружения	Ц. Усекновения главы Иоанна Предтечи (1532), Ц.прп.Сергия Радонежского (1560).
	Гражданские сооружения	Трапезная палата (1560), Малая Больничная палата (XVIIв).
	Оборонительные сооружения	Крепостные стены (XVI в.), Глухая (Котельная) башня (XVIIв.), прясло крепостной стены Нового города, Кузнечная башня (XVIIв).
	Мемориальные	Каменные сени над часовней и крестом прп. Кирилла.
Новый город	Оборонительные сооружения	Крепостные стены Нового города, башни: Белозерская, Косая, Московская, Казанская, Вологодская, земляной ров и вал у Вологодской башни (XVIIв).
	Гражданские сооружения	Солодежная палата (XVI в.).
	Мемориальные сооружения	Деревянная церковь Ризоположения из села Бородавы, Часовня у Казанской башни, Деревянная мельница.

Во время войны 1612–1614 г.г. в монастыре не прекращались военно-инженерные работы. Проводилась надстройка крепостных стен для артиллерийской стрельбы были переоборудованы Конюшенные, Водяные и Святые ворота Успенского монастыря. Начинается строительство укрепленного Острога, прикрывшего самую слабую сторону Ивановского монастыря [46].

Новый этап строительства начинается в 1640 году с возведения жилых и хозяйственных построек. В 1643–1644 годах были построены Большие больничные палаты, в 1646 году - церковь Евфимия. В 1647–1648 годах был выстроен комплекс монастырских келий. В 1645 году была возведена придельная церковь Епифания, пристроенная к северной стене Владимирской церкви.

В 1653 году начинается строительство крепости Нового города [46,57]. Она включает в себя шесть башен – Белозерская, Косая, Московская (Ферапонтовская), Казанская, Вологодская, Кузнечная и мощные крепостные стены, общая длина которых составляет более 800 метров, высота около 10 метров, толщина 7 метров. Стены 3-х ярусные. Два верхних яруса имеют с внутренней стороны открытые арочные галереи, нижний ярус бытовой.

В XVIII веке строительство в монастырях сворачивается, к этому периоду времени относится только возведение колокольни, церкви Кирилла и перестройка Архимандричьих келий.

В XIX веке проводились текущие ремонтные и поддерживающие работы. В первой половине XIX века вдоль крепостных стен по всей береговой линии Сиверского озера сооружается валунная набережная – укрепляется валунами берег, чтобы предотвратить его разрушение, из-за подъема уровня воды в озере в связи со строительством Северо-Двинской гидротехнической системы [166]. Памятники монастыря также требовали постоянного внимания. К 500-летию основания монастыря в 1897 году были выделены значительные суммы на ремонтно-восстановительные работы.

В советское время с 20-х годов «Главнаукой» проводились реставрационные противоаварийные работы под руководством архитектора В.В. Данилова [45]. Из-за тяжелого положения в стране в 20–50-х годах XX века многие памятники архитектуры приспособлялись для использования их в утилитарных хозяйственных целях (в помещениях Казанского собора г. Кириллова до 90-х годов XX века размещался цех по производству безалкогольных напитков) [45]. Статус музея позволил не дать использовать культовые сооружения подобным образом, сохранять их, но в помещениях бывших келий, хозяйственных построек, были размещены общежития, школа-интернат.

В 50–80-е годы реставрационные и ремонтно-реставрационные работы под руководством крупного советского реставратора С.С. Подъяпольского позволили вывести из аварийного состояния большинство памятников.

В настоящее время комплексная научная реставрация памятников продолжается. Ведутся реставрационные работы ЦНРПМ (ГАП Куликов С.Б.), МНРХУ ООО «Карэнси» [45].

В 1998 году закончена реставрация Архимадричьих келий XVII-XIX веков, в 2003 году завершён Братский корпус [45]. В 2007–2008 году вводится в музейную эксплуатацию комплекс Трапезной палаты с церковью Введения. В 2008–2014 проводится комплексная реставрация сооружений Успенского собора. Однако многие памятники музея-заповедника находятся до сих пор в тяжелом состоянии. В первую очередь, к ним относятся крепостные сооружения XVI-XVII веков.

3.2.2. Этапы функционирования локальной ИПТС

Согласно теории природно-технических систем Г.К.Бондарика [5,12,13,14] функционирование (движение) ПТС начинается с момента проектирования и строительства, продолжается в период эксплуатации сооружения. Функционирование ПТС заканчивается во время ликвидации (сноса, разрушения) сооружения. Выделяют следующие этапы функционирования современных элементарных ПТС (рис. 11) [14].

1. **Планирование и проектирование** (имеет четкие временные рамки, и подтверждается технической документацией).
2. **Этап развития** (от начала строительства до момента стабилизации инженерно-геологических процессов в сфере взаимодействия).
3. **Этап эксплуатации** (самый продолжительный по времени, характеризуется работой сооружения в заданном режиме в рамках срока эксплуатации с периодическими текущими и капитальными ремонтами (управляющими мероприятиями)).
4. **Этап ликвидации** ПТС (снос, уничтожение подсистемы «сооружение» после выработанного срока эксплуатации).

Элементарные исторические ПТС, с точки зрения функционирования, целесообразно разделить на две категории. 1 – сохраняемые, в которых Подсистема «историческое сооружение» представляет собой ценный исторический объект, «Памятник». 2 – не сохраняемые, у которых Подсистема «историческое сооружение» не представляет собой объект исторической или какой-нибудь иной ценности. Схема этапов функционирования исторических ПТС выглядит следующим образом (Рис. 11). Первые три этапа присущи

всем историческим ПТС, последние три различны для сохраняемых и не сохраняемых ИПТС.



1. *Этап «Основание»*, замещает этап планирования и проектирования для современных ПТС. Этап характеризует примерные дата и сроки строительства исторического сооружения (техническая документация строительства объектов в подавляющем большинстве полностью отсутствует).

2. *Этап развития* – для исторических ПТС повторяется несколько раз, поскольку в течении «жизни» исторического сооружения неоднократно происходили «управляющие мероприятия» – перестройки и реконструкции, во время которых возобновлялись инженерно-геологические процессы в подсистеме «СВ».

Для локальных ИПТС этапом развития можно считать период строительства основных сооружений, формирующих структуру ИПТС.

3. *Этап сверхдлительной эксплуатации ИПТС*. Характеризуется использованием подсистемы «Историческое сооружение» по прямому назначению с многочисленными

управляющими мероприятиями, в виде перестроек и реконструкций, ставивших своей целью приспособление объекта к новым условиям эксплуатации.

4. **Этап сохранения ИПТС, музеефикации** сооружения. Характеризуется изменением функционального назначения сооружения, переводом его в категорию «Памятника», проведением реставрационных управляющих мероприятий, которые увеличивают прочность, надежность конструкций для сохранности системы.

5. **Этап деградации.** Характеризуется отсутствием управляющих мероприятий, направленных на работу и сохранение сооружения, утратой функциональных возможностей подсистемы «Историческое сооружение», руинированием сооружения.

6. **Этап утраты** для сохраняемых ИПТС не должен наступать, для ИПТС не представляющих исторической ценности он равнозначен этапу ликвидации ПТС, реальному уничтожению исторического сооружения путем сноса.

Для локальных ИПТС, которые состоят из элементарных ИПТС, общие этапы функционирования по сути такие же, однако продолжительность этапов развития и деградации локальных ИПТС может длиться многие сотни лет, а этап утраты как правило никогда не наступает.

Для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря можно выделить четыре этапа функционирования, показанных в таблице 5.

1. Этап основания. 1397–1497 г.г. (Dt 0-1) с даты основания до постройки первого каменного сооружения, дошедшего до нашего времени – Успенского собора. Характеризуется первоначальным освоением территории будущих Успенского и Ивановского монастырей, строительством деревянных сооружений, не дошедших до нашего времени, приспособлением человека к окружающей среде.

Первоначальное освоение территории заключалось в вырубке растительности, выравнивании площадок, планировочных работах, оконтуривании деревянными стенами территории монастырей.

2. Этап развития. 1497–1685 г.г. От строительства Успенского собора до завершения строительства крепостных сооружений Нового города, которые окончательно определили границы монастыря. В этом этапе можно выделить два периода.

1497-1601г.г.– период интенсивного строительства каменных храмов и зданий на территории Успенского и Ивановского монастырей, сооружение крепостных стен «Старого города», строительство на речке Свяге двух мельниц для хозяйственных нужд. Все имеющиеся постройки на территории монастырей перечислены в сохранившейся Переписи 1601 г. [53].

Таблица 5

Этапы функционирования локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря

Этапы	Основание	Развитие		Эксплуатация		Музеефикация, сохранение, охрана	
Временные Интервалы Территория	1397-1497 Dt ₀₋₁	1497 - 1601 Dt _{1.1-1.2}	1601-1685 Dt _{1.2-2.0}	1685-1827 Dt _{2.0-2.1}	1827-1924 Dt _{2.1-3.0}	1924-1953 Dt _{3.0-3.1}	1953-2016 Dt _{3.1-3.2}
Успенский монастырь	Первоначальное освоение территории. Строительство деревянных сооружений	Строительство Успенского собора (1497) Трапезной палаты ц. Преображения, крепостных стен и башен и др. (15 сооружений)	Строительство комплекса Больших Больничных палат, монашеских келий и др. (12)	Строительство ц. Кирилла, Колокольни, архимандричьх келий (3)	Прекращение нового строительства. Инженерная защита территории, прилегающей к озеру (сооружение набережной, контрфорсов). Нецелевое использование зданий	Проведение аварийных реставрационных работ. Нецелевое использование зданий	Комплексная реставрация, прокладка инженерных сетей
Ивановский монастырь	Первоначальное освоение территории. Строительство деревянных сооружений	Строительство храмов, крепостных стен, башен (6 сооружений)	Строительство стен Нового города (2)	Строительство малых Больничных палат (1)	Прекращение нового строительства. Нецелевое использование зданий	Аварийная реставрация	
Новый город	Первоначальное освоение территории		Строительство крепостных стен и башен	Использование территории под хоз. нужды	Прекращение хоз. использования	Аварийная реставрация	

1601–1685 г.г. период активного послевоенного строительства культовых и хозяйственных сооружений (комплекс Больших больничных палат), крепостных стен и башен Нового города. Территория монастыря расширяется до современных границ, идет строительство оборонительных сооружений – крепостных стен и башен, земляных фортификационных сооружений. Обустраивается территория за стенами монастыря – сооружаются дороги и плотина на протоке, соединяющей Долгое и Сиверское озеро.

3. Этап сверхдлительной эксплуатации ИПТС. 1685-1924 г.г. От окончания строительства крепостных сооружений Нового города до начала музейного периода. Выделяется два периода.

1685–1827 г.г. период устойчивой эксплуатации ИПТС, стагнация монастыря. Новое строительство практически не ведется. Большинство сооружений эксплуатируются в соответствии со своими назначениями. В связи с уменьшением финансирования некоторые помещения не используются, сокращается хозяйственная деятельность монастыря. К 400-летнему юбилею монастыря [57,86] строится церковь Кирилла около южной стены Успенского собора, возводится массивная колокольня, реконструируется архиерейский корпус. Все новые постройки возводятся на месте обветшалых строений более раннего возраста.

1827–1924 г.г. Период, продолжающий в основных чертах предыдущий, отличающийся от него строительством защитных сооружений – валунной набережной вдоль береговой линии и контрфорсов. Необходимость в строительстве защитных сооружений появилась в связи с резким изменением гидрогеологических условий территории из-за включения Сиверского озера в верхний бьеф Северо-Двинской гидротехнической системы и подъёма уровня воды в озере в среднем на 1,8 м [167,168]. Результатом взаимодействия двух локальных ИПТС разного генезиса – гидротехнической и историко-архитектурной явилось изменение условий функционирования элементарных ИПТС и ПАС, изменение режима ИПС – речки Свяги.

4. Этап сохранения ИПТС, музеефикации архитектурного ансамбля. 1923 – наст. время. От открытия Кирилловского музея до наших дней. Выделяется два периода.

1924–1953 г.г. Период становления музейной деятельности. Проведение неотложных аварийно-ремонтных работ на отдельных памятниках архитектуры. Нецелевое использование памятников.

1953- настоящее время. Период активной научной реставрационной деятельности под руководством ГАПов ЦНРПМ С.С.Подъяпольского и С.Б.Куликова. В 1968 г. решение Совета Министров РСФСР о повышении статуса музея и создании Кирилло-Белозерского историко-архитектурного и художественного музея-заповедника. Благоустройство

территории ансамбля. Проведение строительных работ, связанных с прокладкой инженерных коммуникаций (водопровод, теплосеть, электрокабель). Значительная экскурсионная нагрузка (до 250 000 экскурсантов в год) [45].

3.3. Структура локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря и краткая характеристика технических подсистем

В соответствии с общей структурной схемой локальных архитектурных ИПТС, рассмотренной выше, локальная ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря содержит четыре структурных подразделения. Структурная схема локальной ИПТС КБМ приведена на рис. 12

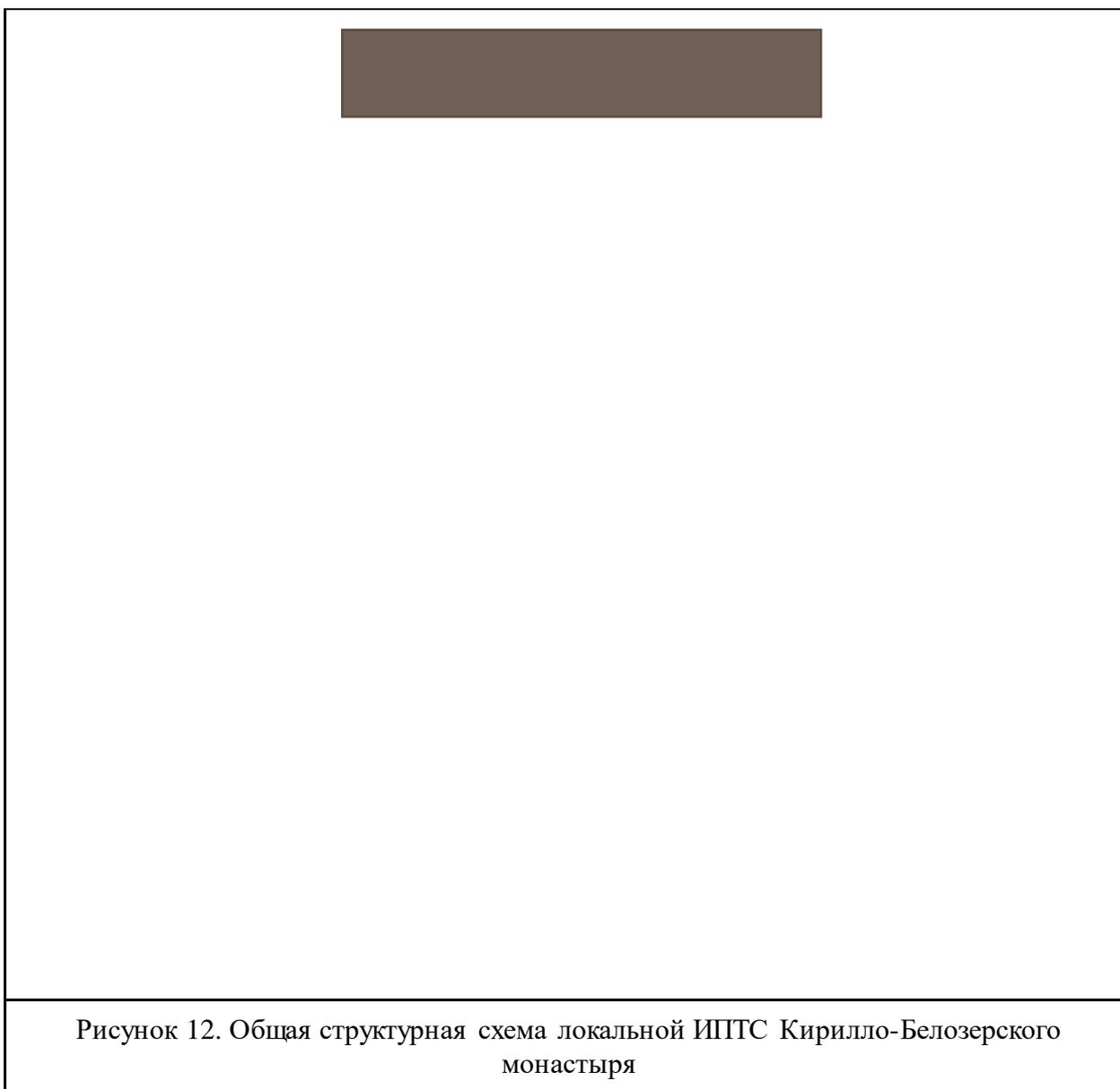


Рисунок 12. Общая структурная схема локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря

Элементарные ИПТС памятников архитектуры являются главными структурообразующими элементами системы. В рассматриваемой ИПТС их насчитывается 53, они представляют собой объекты разного возраста (от 1498 г. до середины XIX в) и

назначения (культовые, гражданские, хозяйственные, оборонительные, защитные, мемориальные). Вместе с ПАС культурного слоя и некрополей, ПТРС речки Свияги и Ивановского холма они составляют блок охраняемых и сохраняемых подсистем. Кроме этого, в структуру локальной ИПТС входят ПТС инженерных сетей (водонесущих, тепловых и кабельных коммуникаций) и защитных сооружений, которые имеют функциональное назначение.

Ниже дается общая характеристика искусственных подсистем каждого выделенного подразделения, характеристика подсистемы «Сфера взаимодействия сооружений с геологической средой», рассматривается в разделе 3.4.

3.3.1. Характеристика подсистемы «Памятники» элементарных ИПТС

В составе локальной ИПТС элементарные ИПТС являются главным системообразующим охраняемым компонентом. Элементарная ИПТС, состоит из двух подсистем: искусственно созданная подсистема «сооружение» («памятник архитектуры (ПА)»), и подсистема, представляющая совокупность природных компонентов – «сфера взаимодействия памятника с геологической средой» («СВ»). Охрана и сохранность исторических сооружений является главной задачей деятельности по управлению локальной ИПТС.

В локальной ИПТС КБМ можно выделить 53 элементарных ИПТС различного назначения, созданных на разных этапах функционирования системы. Общее состояние системы определяет состояние искусственной подсистемы – исторического сооружения, «Памятника». В качестве главных характеристик искусственной подсистемы, определяющих её состояние, выделяют: видимые деформации, характеризующие состояние несущих конструкций, состояние конструкций фундаментов и свайного основания, температурно-влажностной режим сооружений [87,89,105,110].

Краткая общая характеристика подсистем «Памятники», различного назначения приведена в таблице 6.

В ней элементарные ИПТС сгруппированы по месторасположению, первоначальному назначению и этапу функционирования локальной ИПТС. Для каждой элементарной ИПТС указывается либо год окончания проведения комплексной реставрации памятника, либо год последних реставрационных работ. Далее, для выделенных групп ИПТС, в таблице приводятся основные конструктивные особенности сооружений и их фундаментов, основные виды деформаций, а также тепловой режим функционирования. Следует отметить, что по некоторым выделенным ИПТС оборонительного (земляные рвы и валы)

защитного (валунная набережная) назначения очень мало информации, они не обследовались и не изучались должным образом.

Очень важно понимать, что время возведения сооружений во многом определяет их конструктивные особенности [125]. Ниже приводится краткая характеристика искусственной подсистемы однотипных элементарных ИПТС, созданных в одно время и описание типичных деформаций памятников.

Сооружения характеризуются типичными строительно-архитектурными чертами времени своего возведения, о которых детально написали Кирпичников А.Н., Хлопин И.Н. в книге Великая Государева крепость.

Все сооружения монастыря обладают следующими общими строительными чертами, они [46,57,125]:

- выстроены из «большомерного кирпича» ($\approx 7 \times 16 \times 30$ см);
- отличаются массивностью (ширина несущих стен 1,5-2,1м);
- возведены на валунных ленточных фундаментах, основания которых усилены деревянными конструкциями – сваями и лежнями.

Культовые, гражданские и хозяйственные сооружения (XV-XVIII в.в.)

К ним относятся более половины (27 из 53) существующих памятников.

Культовые сооружения – храмы и колокольня. Храмы отличаются разнообразной конструкцией – крестово-купольной (Успенский собор), шатровой (ц.Евфимия), однокупольной (ц. Епифания, Владимира, Кирилла и. т.д.), сложной конфигурацией (комплекс Успенского собора) (Фото 1). Некоторые храмы сооружены на высоком подклете (ц. Иоанна Лествичника, Преображения, прп. Сергия Радонежского). У всех храмов в площади основного объема лежит квадрат, максимальный размер у Успенского собора 12х24 м, высота сооружений не превышает 15 м.

По режиму отопления в большинстве своем – неотапливаемые, кроме ц. Кирилла, ц. Введения с 2008 г, Успенского собора с 2014г.

Краткая общая характеристика подсистем «Памятники» элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря

Место-расположение	Назначение ИПТС	Этап функционирования локал. ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-В» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов	Виды деформаций
Успенский монастырь	Культовое	Развития (XVI-XVII в.в.)	1. Успенский собор (1496)	2014	Храмы крестово-купольной системы (Успенский собор, ц. Преображения), однокупольные, шатровые (Евфимия). На высоком подклете (ц. Преображения, Иоанна Лествичника), сложной конфигурации. Неотапливаемые, кроме Успенского собора с 2014г. и ц. Введения с 2008 г.	Валунные ленточные фундаменты на деревянном свайном основании, расширенные от вертикальной плоскости стен на величину от 0,2 до 0,6 м. Величина валунов в теле фундаментов составляет от 0,2 до 0,4 м в диаметре.	Трещины различной конфигурации и ширины раскрытия, приуроченные в к арочным и сводовым перекрытиям, оконным и дверным проемам. Переувлажнение стен, сотовое разрушение кирпичной кладки.
			2. Ц. Владимира (1554)	-			
			3. Сев. Паперть (Конец XVI в.)	-			
			4. Ц. Епифания (1645)	-			
			5. Ц. Введения (1519)	2008			
			6. Ц. Архангела Гавриила (1531-1534)	1986			
			7. Ц. Иоанна Лествичника (1569-1572) над святыми воротами (1523)	-			
			8. Надвратная церковь Преображения (1595)	1984			
			9. Ц. Евфимия с трапезной. (1646)	1976, 1983			
		Эксплуатации (XVIII-XIX в.в.)	10. Ц. Кирилла (1785)	1995	Самые высокие культовые постройки в монастыре. Высота колокольни м. Построены на месте более древних сооружений, повторяющие в плане их форму.	Валунные ленточные фундаменты на деревянном свайном основании, вертикальной и трапецевидной формы. Величина валунов от 0,4 до 1,0 м в диаметре.	

Место- расположение	Назна- чение ИПТС	Этап функционализова- ния локал.ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-W» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов		Виды деформаций
Успенский монастырь			11.Колокольня (1757-1761)	2011	Ц. Кирилла всегда отапливаемая. Колокольня и Притвор Успенского собора неотапливаемые до реставрации 21 в.	Высота,м	1,9-2,8	
			12.Притвор Успенского собора (конец XVIII в)	2015		Глубина залож.,м	1,9-3,0	
	Гражданское	Развития (XVI-XVII в.в.)	1.Трапезная палата (1519)	2008	Сооружения в основном прямоугольной формы, сложной структуры, многократно перестраиваемые. Двухэтажные, на подклетах, кроме Больших Больничных палат. Внешние стены Трапезной, Казенной Архимандричьих палат укреплены контрфорсами. Отапливаемые.	Валунные ленточные фундаменты на деревянном свайном основании, сложной формы, ступенчатые	Трещины различной конфигурации и ширины раскрытия, приуроченные в к арочным и сводовым перекрытиям, оконным и дверным проемам. Переувлажнение стен, сотовое разрушение кирпичной кладки.	
			2.Казенная палата (XVI- XVII вв.) Сушило	1980		Высота,м		0,45-1,7
			3. Монашеские кельи (Братский корпус) (XVII в)	2004		Глубина залож.,м		0,75-2,15
			4.Домик келаря (XVII в)	2008		Сваи		да
			5.Большие Больничные палаты (1644)	1962-73				
			6.Кельи (мон. архив) (XVII в)	-				
			7.Священнические кельи	-				
			8. Духовное училище (1647-1648)	1997				
			9.Архимандричьи кельи (XVII -XIX в.в)	1999				
	Хозяйственное	Развития	1.Поварня (XVI в)	1987	Сооружения прямоугольной формы, сложной структуры, многократно перестраиваемые. Отапливаемые.	Фундаменты валунные, ленточные, на деревянном свайном основании. Параметры фундаментов такие же, как у зданий гражданского назначения.	Вертикальные незначительные трещины. Переувлажнение кладки стен, высолы, разрушение отмостки.	
2.Поваренные кельи (XVII в)			1987-1990					

Место- расположение	Назна- чение ИПТС	Этап функционирова- ния локал.ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-W» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов	Виды деформаций
	Оборонительное	Развития	1.Крепостные стены (XVIв.)	С 50-х г.г. 20 в.	Стены двухъярусные, одной ветви, высотой от 5 до 7,2 м, толщиной от 1,0 до 1,5 м. Нижний ярус - ряд коробовых арок с амбразурами подошвенного боя. Верхний ярус – с двумя рядами щелеобразных бойниц, прямых и косых. Башни – четырехгранные, в плане квадратные, высотой до 10,0 м. В XIX веке прясла стен были усилены 18 контрфорсами.	Фундаменты валунные, ленточные, в основании сваи и лежни. Валуны в теле фундамента мелкие, (10-15 см) рядность плохо выражена.	По всей протяженности стен и у башен наблюдаются: трещины, наклон стен, высолы, сотовое выветривание кирпича, отход контрфорсов от стен. Аварийный участок у Свиточной башни - вертикальный сквозной разрыв стены со смещением до 15 см и наклоном в сторону озера.
			2.Свиточная башня (1591)	1959,1 987			
			3.Малая Мереженная башня (XVIв.)	-			
			4.Грановитая башня (XVIв)	-			
			5.Рыболовецкая палатка (XVIIв.)	-			
			6.Хлебенная башня (1621-1668)	1983- 1988			
			7.Поваренная башня (XVIIв.)	-			
Ивановский монастырь	Защит- ное	Эксплу- атации	1.Валунная набережная вдоль береговой линии и крепостных стен (XIX в.)	-	Построена для защиты береговой линии от размыва в связи с Северо- Двинской системы	Валунная кладка состоит из валунов до 1,4 м в диаметре, уложенных в 1-2 ряда	Нарушение рядности валунной кладки в связи с волновым размывом.
	Культо- вое	Разви- тия	1.Ц. Усекновения главы Иоанна Предтечи (1534) 2. Ц. прп. Сергия Радонежского (1560)	? 1956, 1980,1 983	Небольшие бесстолпные храмы. Ц.Иоанна Предтечи на вершине холма, ц.С.Радонежского на южном склоне.	Нет информации	Незначительные трещины через проемы. Угловые деформации. Переувлажнение кладки стен,

Место- расположение	Назна- чение ИПТС	Этап функционализова- ния локал.ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-W» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов	Виды деформаций	
							разрушение отмостки.	
Гражда нское	Развития	1. Трапезная (1560)	1956, 1980,1 983	Располагается на склоне холма на высоком подклете. Укреплена контрфорсами. Отапливаемая	Нет информации			
		Эксплу- атации	2.Малая Больничная палата (XVIII в)	1953,19 56, Ф.1958				Прямоугольной формы, расположена на склоне. Неотапливаемая в н.в.
Оборонительное	Развития	1. Крепостные стены (XVIв.)	1983	Ивановский монастырь с южной и северной сторон обнесен крепостной стеной XVI в., с восточной – стеной «Нового города» XVII в., в которой частью конструкции является стена XVI в.	Аналогичны с фундаментами крепостных стен Успенского монастыря и стенами Нового города.	У стен (XVIв.) наблюдаются: трещины, наклон стен, высолы, сотовое выветривание кирпича, отход контрфорсов от стен.		
		2. Глухая башня (XVII в.)					Высота,м	0,8-1,0
		3. Крепостные стены (XVII в.)					Глубина залож,м	1,5-2,5
		4.Кузнечная башня (XVII в.)	1981,1 987				Сваи, лежни	да
Мемор иально е	Эксплу- атации	1.Каменные сени (XVIII и XIX в. в.) над часовней и крестом прп.Кирилла	-	Располагаются на западном склоне Ивановского холма. Открытые, неотапливаемые	Не изучались			

Место- расположение	Назна- чение ИПТС	Этап функционалирова- ния локал.ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-W» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов	Виды деформаций		
Новый город	Оборонительное	Развития	1.Крепостные стены (XVII в.)		Крепостные сооружения включают в себя четыре угловых, две проездных башни (Казанская и Косая) и пять отрезков прясел крепостных стен длиной от 80 до 181 м. Высота стен 11- 12 м. Ширина -7 м. Общая протяженность прясел крепостных стен составляет около 750 м. Стены - трехъярусные состоят из двух параллельных продольных стен - внешней и внутренней ветвей, соединенных между собой поперечными стенами. Внешняя ветвь -сплошная, толщиной от 2,0 до 2,5 м, внутренняя состоит из трех ярусов, нижний сплошной, высотой до 4,5 м , второй арочный высотой 3,5 м, третий - представлен колоннами из кирпича высотой 3 м, с общей крышей.	Фундаменты валунные, многоярусные, с забутовкой и без забутовки пустот земляным материалом. Размеры валунов изменяются от мелких (20-40 см) до крупных (80 см)	Многочисленные структурные деформации. На втором и третьем ярусах - продольные деформации гильбица - трещины в полу (ширина раскрытия 1-3 см), сводовые деформации с разрывом кованых связей, выходом деревянных балок из гнезд. Сквозной вертикальный разрыв стены шириной до 10 сантиметров, с небольшим смещением участков стен друг относительно друга вниз и в сторону на 2-3 сантиметра. Деформации, связанные с выпучиванием валунов и		
			2.Белозерская башня (XVII в.)					Высота,м	1,5-2,35
			3.Косая башня (XVII в.)					Глубина залож.,м	1,4-2,55
			4.Московская башня (XVII в.)					Сваи	да
			5.Казанская башня (XVII в.)					Фундаменты часто расширены от вертикали стен на 0,2-0,5 м, имеют ступенчатую или трапецевидную форму. У Белозерской башни фундамент выполнен в виде платформ.	
			6.Вологодская башня (XVII в.)						

Место- расположение	Назна- чение ИПТС	Этап функционалирова- ния локал.ИПТС	Название ИПТС	Комплексная реставрация	Конструктивные особенности и «Т-W» режим подсистемы «Памятники»	Конструктивные особенности фундаментов	Виды деформаций
			7. Земляной ров и вал вдоль восточной стены крепости (XVII в.)	1992	Остатки от первоначальной фортификационной системы.		образованием ниш между валунным фундаментом и телом стены (северное и восточное прясло)
			Валунная набережная вдоль береговой линии и крепостных стен (XIX в.)	-	Построена для защиты береговой линии от размыва в связи с Северо- Двинской системой		Валунная кладка состоит из валунов до 1,4 м в диаметре, уложенных в 1-2 ряда
	Мемориальное	Музейфикации	Деревянная ц. Ризоположения из села Бородавы (1485)	2011	Древнейшее деревянное Сооружение Русского Севера	Нет информации	
			Деревянная мельница из деревни Горки (XIX в.)				

Колокольня является самым высоким сооружением монастыря – высота 26 м. Выстроена в 1761 г. на месте колокольни XVI в.

Многие храмы монастыря объединяются с гражданскими и хозяйственными сооружениями, формируя комплексы (ц. Введения с Трапезной палатой и поварней, комплекс Больших Больничных палат с ц. Евфимия и трапезной и др.). [57] (Фото 1).



Фото 1. Успенский собор, ц. Введения с Трапезной палатой и колокольней XVI века

Гражданские и хозяйственные сооружения представлены: трапезными (сооружениями, предназначенными для общей трапезы насельников), административными (Архимандричьи, Казенные палаты) и жилыми корпусами (Братский корпус, Священнические кельи, кельи), больничными палатами, поварнями. Все сооружения имеют в плане прямоугольную форму, административные и жилые корпуса – двухэтажные. Памятники имеют богатую архитектурно-строительную историю. Здания неоднократно перестраивались и переделывались, постоянно находились в режиме эксплуатации, во внутренних помещениях периодически производился текущий косметический ремонт.

По режиму отопления почти все гражданские и хозяйственные сооружения были с самого начала отапливаемыми, в настоящее время часть объектов, например, Большая и Малая Больничные палаты, неотапливаемые.

Оборонительные сооружения XVI-XVII в.в.

Представлены крепостными стенами и башнями XVI века (крепость Старого города) и XVII века (крепость Нового города). Общее количество выделенных элементарных ИПТС – 16. Крепостные стены - линейные сооружения XVI и XVII в.в., протяженность стен значительно больше их ширины. Общая протяженность крепостных стен XVI в. более 1000 м, крепостных стен Нового города – 800 м. Строительство крепостных сооружений продолжалось несколько десятилетий [46,57]. Кроме крепостных объектов в группу оборонительных сооружений входят остатки фортификационных сооружений XVII в. – земляные валы и рвы, расположенные около Вологодской башни и вдоль восточного прясла крепостной стены.

Крепостные стены XVI в. сохранились практически полностью. На территории Успенского монастыря они – двухъярусные, одной ветви, высотой от 5 до 7,2 м, толщиной от 1,0 до 1,5 м (Фото2). Нижний ярус представляет собой ряд коробовых арок с амбразурами подошвенного боя. Верхний ярус – с двумя рядами щелеобразных бойниц, прямых и косых. В XIX веке прясла стен были усилены 18 контрфорсами. (Фото.2)

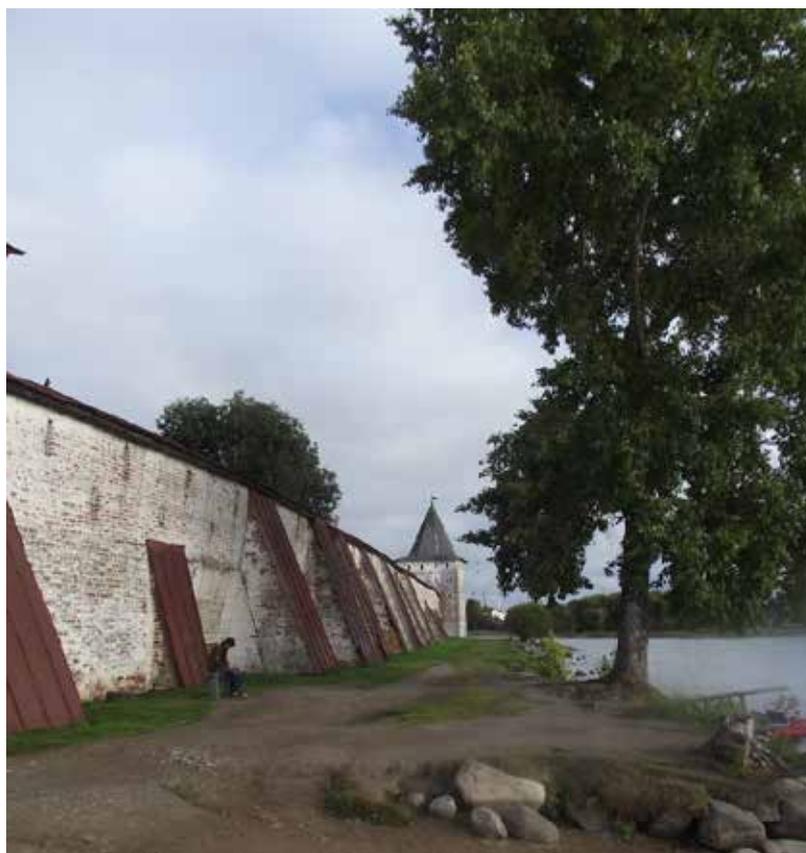


Фото 2. Прясло стены XVI века со стороны Сиверского озера, на заднем плане Свиточная башня (XVI в)

На территории Ивановского монастыря крепостные стены более слабые: высота стен – 4 м, ширина около 1 м, они имеют один ряд амбразур.

Из башен Старого города сохранились башни, выходящие к Сиверскому озеру – Поваренная, Хлебная, Свиточная, Котельная. Мереженная башня сохранилась частично. Восточная угловая башня крепостной ограды Ивановского монастыря в XVII веке была встроена в тело крепостной стены Нового города. Фрагменты башни были вскрыты в 2000 году экспедицией МГГА (МГРИ) []. Все башни – четырехгранные, в плане квадратные, высотой до 10,0 м.

Крепостные сооружения XVII в. (Нового города) включают в себя четыре (Вологодская, Московская, Белозерская, Кузнечная) угловых, две проездных (Казанская и Косая) башни и пять отрезков прясел крепостных стен длиной от 80 до 181 м. Общая протяженность прясел крепостных стен составляет около 732 м [94,97,170] (Фото.3).



Фото 3. Прясло стены XVII века, вид на Кузнечную башню с внешней стороны

Конструктивно стены – трехъярусные сооружения, состоящие из двух параллельных продольных стен – внешней ветви (из города), и внутренней ветви, соединенных между собой поперечными стенами. На нижнем уровне продольные стены соединяются сводчатым перекрытием и сплошной поперечной стеной, на втором уровне сводчатыми перекрытиями. Общая высота стен 11- 12 м, ширина – 7 м.

Внешняя ветвь сплошная, массивная, прорезанная бойницами, её высота в среднем составляет 11,5 м, ширина различна на разных уровнях. На первом ярусе её ширина меняется от 2,0 м до 2,5 м. На третьем ярусе ширина стен составляет 1,4 м.

Внутренняя ветвь состоит из трех ярусов, нижний сплошной, высотой до 4,5 м, второй арочный высотой 3,5 м, ширина арок по низу изменяется от 4 до 4,5 м, ширина простенков 2,5 м. Выше, в пределах третьего яруса на стене установлены колонны из кирпича высотой 3 м, поперечным сечением в плане 1,1×1,1 м (Фото 4).



Фото 4. Внутренняя ветвь крепостной стены Нового города, участок между Казанской и Вологодской башни

Отмечается структурная неоднородность крепостных стен, обусловленная разной толщиной внешней ветви стены в нижнем ярусе. У Казанской башни, где стена расширена контрфорсом, её толщина составляет 2,5 м, у Вологодской башни -- 2,1 м. Толщина внутренней ветви также меняется от 0,8 до 1,1 м. Ширина шага арок по второму ярусу меняется от 3,8 до 4,5 м, также неодинакова и ширина стены по ярусам [].

Конструктивная неоднородность приводит к разным величинам нагрузки на основания [170,171]. Так, нагрузка на грунты основания внешней ветви стены немногим больше 0,2 МПа, нагрузка от внутренней ветви не превышает 0,14 МПа.

Крепостные башни Нового города – самые высокие сооружения в монастыре. Кузнечная, Вологодская, Московская и Белозерская являются угловыми, многогранными башнями, Казанская и Косая – проездными, четырехугольными в плане. Через Казанскую башню осуществляется главный вход и въезд в монастырь (Фото 5).

В техническом отношении – угловые и проездные башни являются «Типовыми» объектами. Угловые башни – восьмигранная Вологодская и шестнадцатигранные остальные, представляют собой сооружения одинаковой конструкции. Диаметр – 18м,



Фото 5. Казанская башня, вид с внешней стороны

Деформации сооружений.

Почти все исторические сооружения разного назначения неоднократно перестраивались и реставрировались. В XX веке реставрация ставила своей целью сохранение и приспособление зданий для новых функций, прежде всего музейного показа. Комплексная реставрация в XXI веке с использованием новых реставрационных и строительных технологий дает возможность на качественно новом уровне приспособить исторические сооружения для музейного показа. Реставрация в последние 20 лет была проведена на комплексах сооружений Братских келий, ц. Введения с Трапезной палатой, домика келаря, Успенского собора. В настоящее время идёт работа над разработкой проектной документации для проведения реставрации стен XVI века, а также набережной.

Перед началом реставрации проводят исследовательские работы по историко-архитектурным особенностям памятника [20,138], в том числе изучение состояния конструкций.

Состояние конструкций во многом отражают деформации. Памятники Кирилло-Белозерского монастыря подвержены нескольким основным типам и видам деформаций [171,172], главные из которых приведены в таблице:

Таблица 7

Основные типы и виды деформаций памятников КБМ

Типы деформаций	Осадочные	Конструктивные	Морозное пучение	Температурно - влажностные;	Биологические
Виды:	Трещины: разрывы, структурные нитевидные.	Трещины: разрывы, структурные нитевидные.	Выпучивание валунов, отрыв фундамента от стен с образованием ниши, угловые деформации.	Переувлажнение кладки стены. Высолы. Сотовое выветривание кирпича	Гниение, Поражение грибками, жуками-точильщикам и

Ниже приводится краткое описание деформаций Успенского собора и крепостных стен, сделанное на основе материалов архива кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ и личного архива Подборской В.О [172,180].

Деформации конструкций комплекса Успенского собора. До начала комплексной реставрации конструкции Успенского собора были в значительной степени деформированы [167,180]. В несущих наземных элементах конструкций основного объёма Успенского собора и пристроек, наблюдалось развитие деформаций в виде трещин различной конфигурации и разной ширины раскрытия. Отмечены многочисленные трещины разного масштаба (от нитевидных до разрывов в несколько сантиметров) в несущих конструкциях и арочных сводах (Фото 6).

Трещины приурочены в основном к оконным и дверным проёмам. Наиболее деформированы по внешним признакам были Северная паперть и церковь Епифания. Самая крупная структурная деформация наблюдалась в сводовом пространстве Успенского собора. Трещина имела раскрытие до 30-40 мм, и протягивалась практически через весь свод. Другая крупная система трещин имела направление юг-север, проходила через дверной проем, соединяющий главный объём и Северную паперть, трассировалась по Северной паперти.

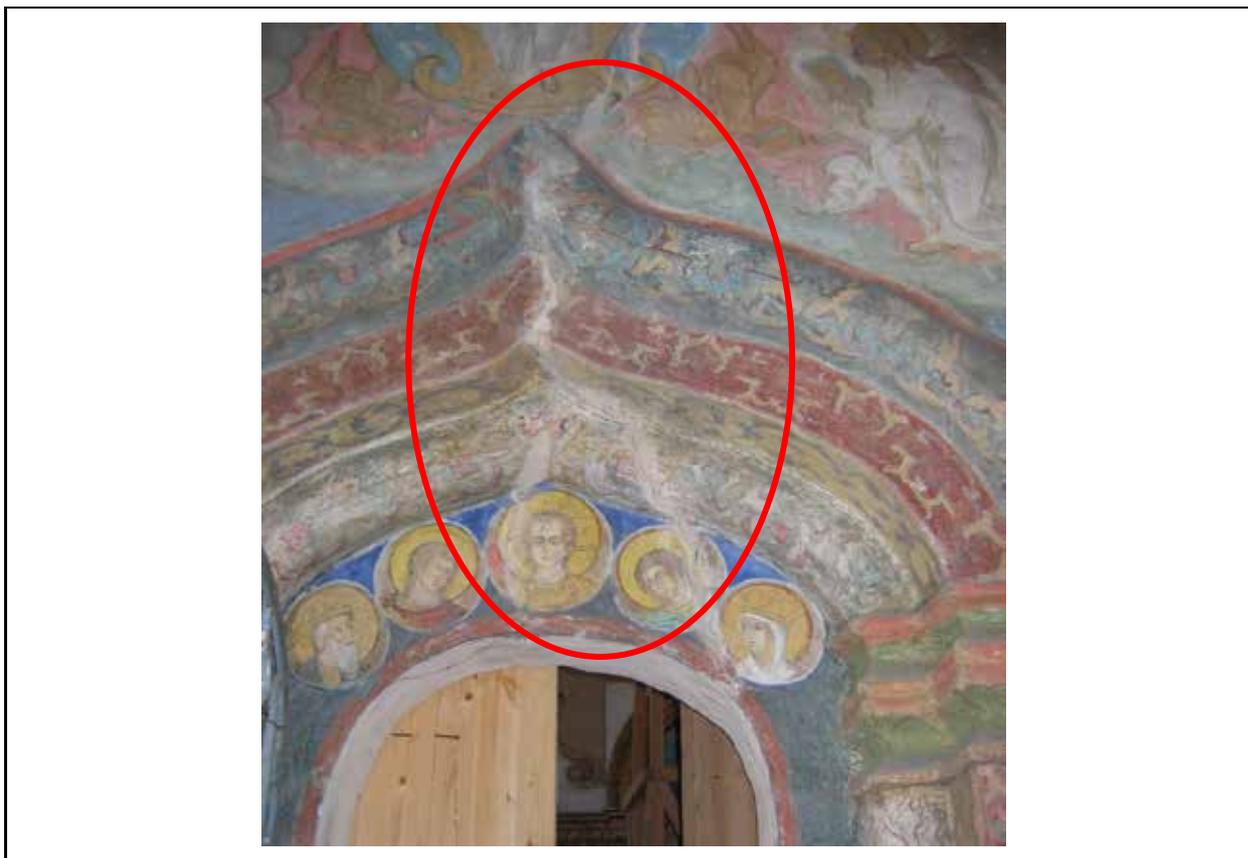


Фото 6. Трещины в арочных сводах Успенского собора

С северной стороны, наблюдалось значительное разрушение кирпичной кладки стен, контактирующих с фундаментом. Кирпич в некоторых местах был разрушен до состояния щебня и сильно увлажнен, в теле стены формировались полости. В интерьере собора, в нижних зонах ограждающих и несущих конструкций, наблюдалось значительное увлажнение кладки в результате капиллярного подсоса и конденсата, а также развитие плесневых грибов и водорослей, повсеместно фиксировалось увлажнение и разрушение красочного слоя настенной живописи. На внутренних столпах в интерьере отмечалось мучнистое разрушение поверхности кирпича типа «сотового выветривания» (Фото 7).



Фото 7. «Сотовое выветривание» кирпичной кладки в Успенском соборе

По всему внешнему периметру комплекса, за исключением ц. Кирилла, наблюдалось плохое состояние внешних поверхностей стен, располагающихся в приповерхностной зоне. Отмечалось переувлажнение и разрушение кирпичной кладки, отмосток, наблюдалось распространение мха. На стенах четко фиксировались линии подсоса. Особенно ярко это выражено на внешних стенах северной и северо-западной экспозиции (Фото 8).

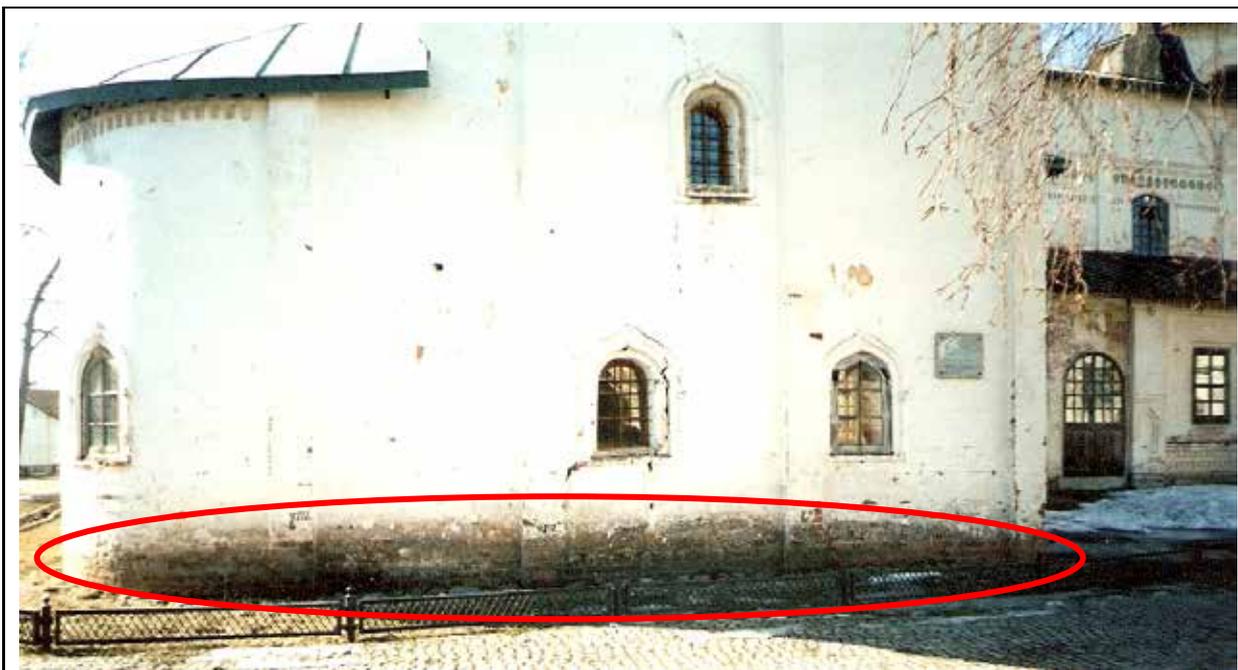


Фото 8. Переувлажнённый участок внешней стены северной экспозиции Успенского собора

Деформации крепостных стен Старого города. Визуальное обследование показало, что практически все участки прясел в значительной степени деформированы. По всей протяженности стен наблюдаются следующие виды деформаций: трещины, наклон стен, трещины в угловых частях башен, высолы, сотовое выветривание кирпича, отход контрфорсов от стен. Контрфорсы также значительно деформированы, находятся в неустойчивом состоянии.

Трещины на пряслах крепостных стен и башнях разнообразны по размерам и направлению. Чаще всего они вертикальные, но встречаются горизонтальные и системы наклонных трещин. Наибольшее раскрытие трещин составляет около 5 см.

По степени внешней деформированности наименее деформированными являются участки стен от Преображенских ворот до Свиточной башни и от Рыболовецкой Палатки до Котельной башни (здесь наблюдаются, в основном, отрывы контрфорсов от стен). Более деформированным является участок от Малой Мереженной башни до Водяных ворот. Кроме этого, существует аварийный участок стены длиной около 20 м на участке прясла от Свиточной до Рыболовецкой палатки. Здесь наблюдается вертикальный сквозной разрыв стены с вертикальным смещением до 15 см и наклоном стены в сторону озера, а также, наблюдается разрушение и выветривание кирпича стен на высоту до 3 м (Фото 9).



Фото 9. Участок стены 16 века от Малой Мереженной башни до Водяных ворот

Деформации крепостных стен Нового города. На всем протяжении прясел, на втором и третьем ярусах широко развиты **продольные деформации гульбища**. Наблюдаются продольные трещины в полу гульбища с шириной раскрытия 1-3 см, на некоторых участках прослеживаются трещины, в непосредственной близости от внешней ветви, показывающие её отрыв от гульбища.

Сводовые деформации с разрывом кованых связей, выходом деревянных балок из гнезд отмечаются на втором и третьих ярусах (Фото 10). На первом ярусе в потолках камер наблюдается также развитие сводовых трещин, ширина раскрытия которых составляет 4,0-6,5 см. Трещины часто имеют ступенчатый характер.

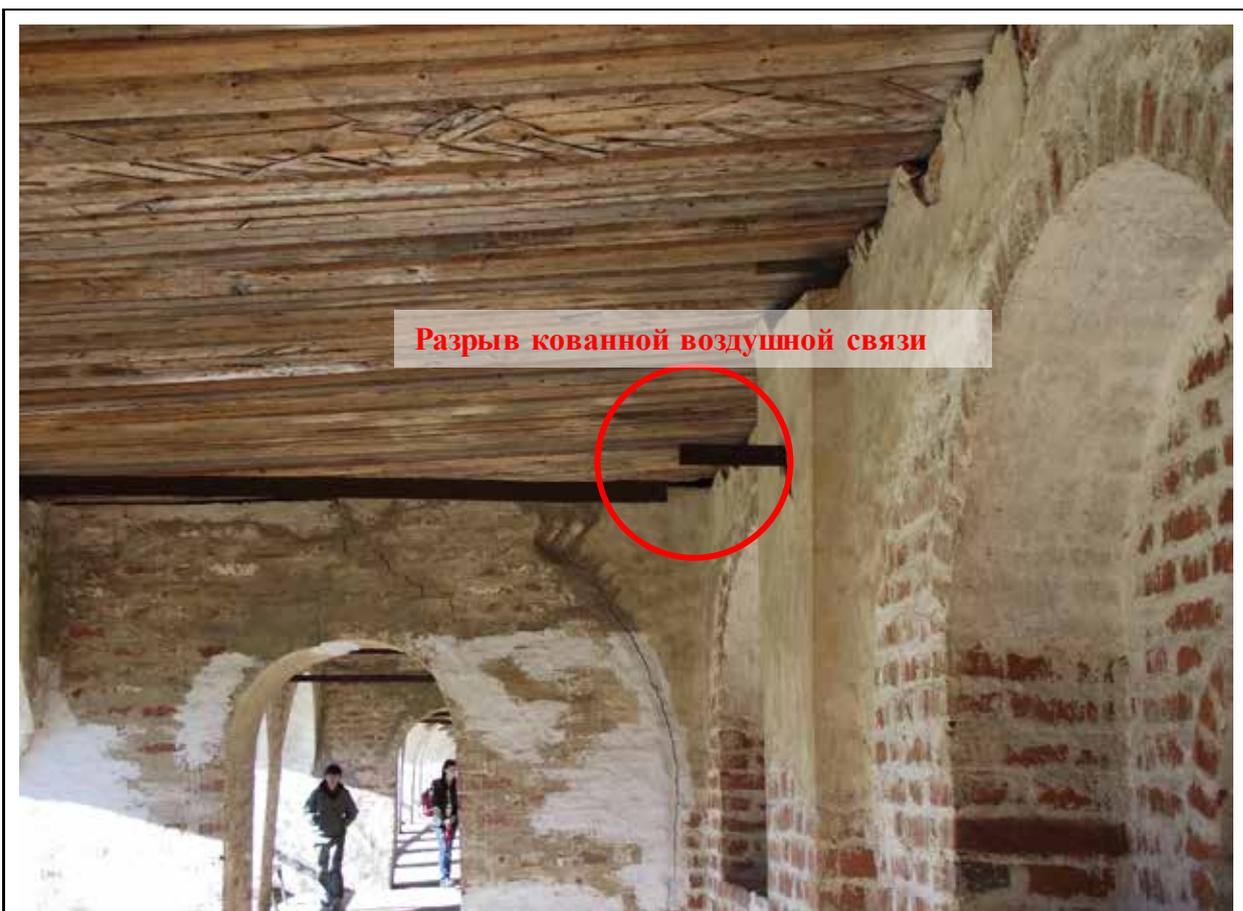


Фото 10. Третий ярус крепостных стен Нового города на участке между Казанской и Вологодской башней

Деформации внешней ветви. С внешней стороны прослеживаются в теле стены крупные структурные деформации. В центральной части прясла между Вологодской и Кузнечной башнями наблюдается сквозной вертикальный разрыв стены шириной до 10 см, небольшим смещением участков стен друг относительно друга вниз и в сторону на 2-3 см (Фото 11). На участках примыкания крепостных стен к Вологодской башне, по двум пряслам, на расстоянии нескольких метров от башни прослеживаются крупные вертикальные трещины с шириной раскрытия до 2 см, с максимальным раскрытием вверху. На расстоянии 60 м от Казанской башни на высоте 0,5-0,7 м от поверхности наблюдается горизонтальная трещина значительной протяженности.

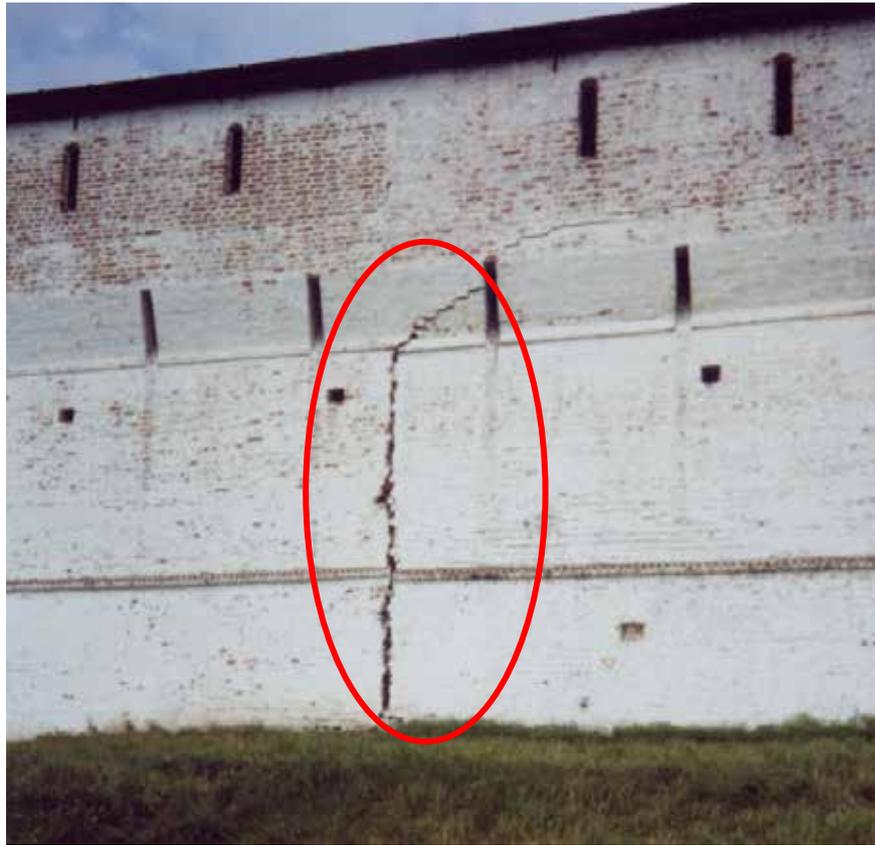


Фото 11. Разрыв прясла крепостной стены между Кузнечной и Вологодской башнями

По внешней стороне прясла между Вологодской и Казанской башнями отмечаются деформации, связанные с образованием ниш между валунным фундаментом и телом стены. Высота ниши достигает 20-40 см (Фото 12), протяженность отдельных участков 20 м.



Фото 12. Внешняя сторона прясла между Вологодской и Казанской башнями

Деформации тела стены внутренней ветви имеют часто характер горизонтальных трещин в столбах арочных проёмов, вертикальных трещин, направленных через дверные проёмы. (Фото 13)



Практически все наблюдаемые деформации «живые», стенные маяки, установленные на трещинах летом 1987 года к декабрю, были разорваны [167,168]. Об этом свидетельствуют также трещины в цементных стяжках, новой кирпичной кладке, которые появились после проведения ремонтно-реставрационных работ на гудбищах стен.

Таким образом, в настоящее время состояние прясел крепостных стен можно оценить, как динамически нестабильное, близкое к аварийному.

3.3.2. Характеристика подсистемы «культурный слой» природно-археологической системы (ПАС).

Согласно закону «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (73 ФЗ): «Под объектом археологического наследия понимаются частично или полностью скрытые в земле или под водой следы существования человека в прошлых эпохах (включая все связанные с такими следами археологические предметы и *культурные слои*), основным или одним из основных источников информации о которых являются археологические раскопки или находки.»

ПАС – это функционально единая совокупность памятников археологии и окружающей их природной среды [17,138].

В локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря ПАС состоит из подсистем собственно культурного слоя и захоронений (некрополи).

Под культурным слоем (КС) понимается слой накоплений, сформировавшийся в приповерхностной части литосферы в результате хозяйственного освоения территории и содержащий следы материальной культуры [16,34,140]. Этот слой является продуктом антропогенной (хозяйственной) деятельности человека и может быть рассмотрен как главный компонент природно-археологической системы Кирилло-Белозерского монастыря (КБМ).

На территории монастыря культурный слой, его состав, характер распространения, изучался прежде всего во время археологических исследований, проводимых экспедициями института археологии РАН, а с конца 90-х годов XX в. И.А. Папиным («Древности Севера»). Во время инженерно-геологических исследований на территории монастыря при разведочном и зондировочном бурении, проходке шурфов, предназначенных для изучения конструкций фундаментов, проводилась документация грунтов культурного слоя.

Необходимо отметить, что освоение территории КБМ началось с конца 14 в. (1398 год – год основания монастыря), а значит, в археологическом плане, ценность культурного слоя не представляет большого значения. Однако, для изучения истории монастыря, особенно его строительной истории, а также для определения условий функционирования сооружений, информация, содержащаяся в КС необходима.

На исследуемой территории культурный слой имеет повсеместное распространение, он образовался в результате строительной и хозяйственной деятельности, залегает с поверхности, имеет сложную слоистую структуру.

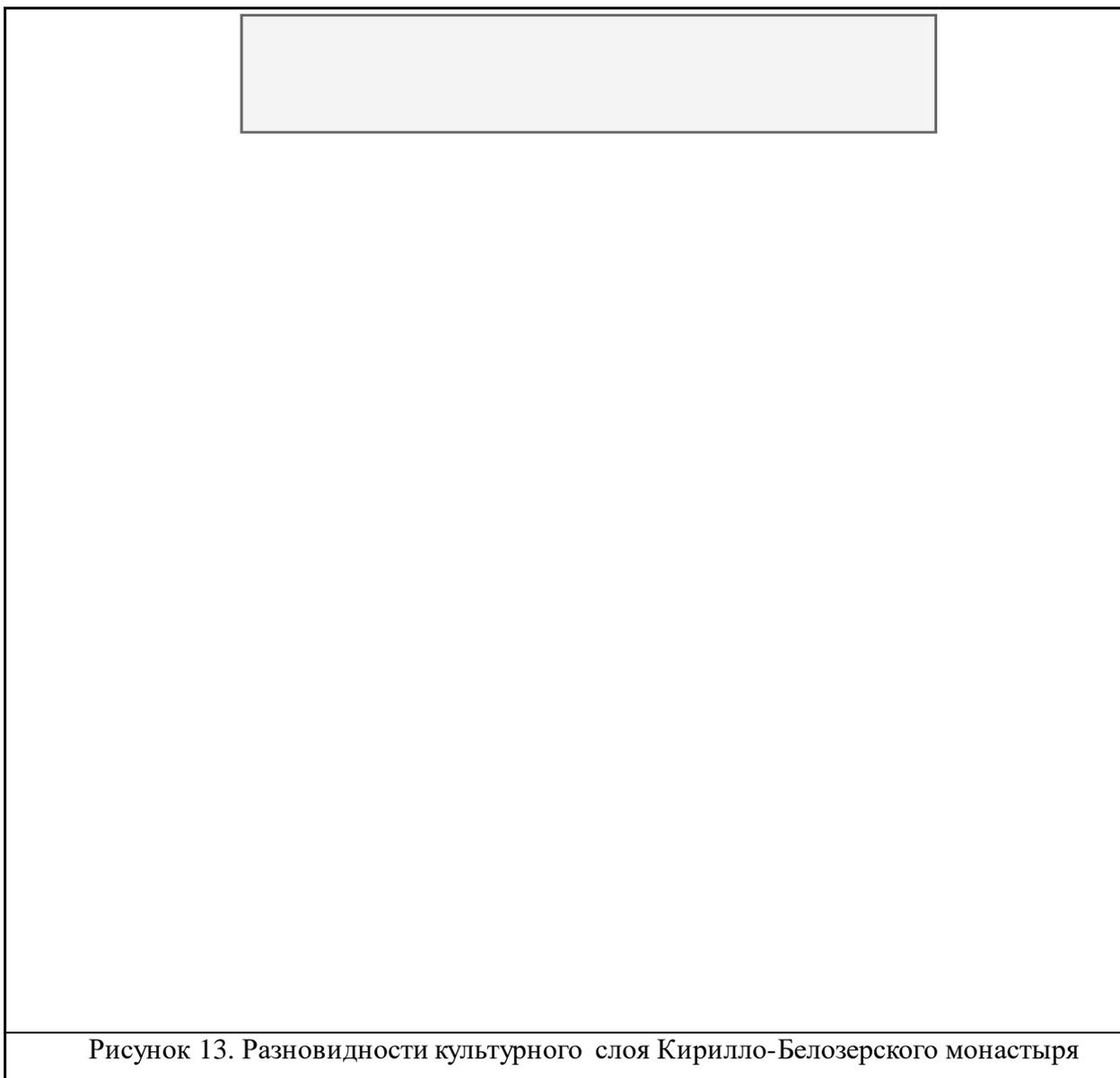
Культурный слой состоит из толщи техногенных грунтов, различного литологического состава, содержащих артефакты, а также фрагменты фундаментов несохранившихся зданий, деревянных конструкции. Согласно классификации [21], **техногенный грунт** – грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Формирование техногенных грунтов в КБМ связано с планировочными и строительными работами, проводившимися в связи с разнообразным хозяйственным использованием территории. Различаются техногенные грунты, образованные тем или иным способом: грунты обратной засыпки (сформированные в связи с устройством фундаментов), грунты, образовавшиеся в результате целенаправленной планировки и инженерной подготовки территории (Прибрежная часть монастыря, Новый город), грунты, накопленные эволюционным путем.

Мощность техногенных грунтов по территории изменяется от 0,3 до 5,3 м. Они разнообразны по литологическому составу, который определяется литологическим составом подстилающих отложений очень неоднородны, содержат большое количество

включений. Это в основном супесчаные и суглинистые грунты разной степени уплотненности со строительным мусором: известковой щебенкой, битым кирпичом, щепой, древесиной, прослоями обгоревшего материала. Наблюдается различие грунтов техногенного генезиса по цвету на разных участках территории.

На основании имеющейся информации, по составу компонентов и структуре техногенных грунтов можно выделить следующие разновидности культурного слоя КБМ (Рис. 13):



Главным компонентом КС является техногенный грунт, в котором содержатся артефакты. На подавляющей части территории монастыря развит КС, состоящий из техногенного грунта, сформированного разными путями с разнообразными артефактами, остатками строительного мусора и т.п. (Фото 14). Однако, встречаются участки, где развит КС с фрагментами строительных конструкций – остатками валунных фундаментов, деревянных конструкций (Фото 15).

Далее КС подразделяется по строению и составу техногенных грунтов его формирующих.



Фото 14. Характер напластования техногенных грунтов культурного слоя у ц. Преображения (раскоп 2008 г.)



Фото 15. Археологический раскоп к западу от ц. Преображения. Вскрытие в толще техногенных грунтов деревянных конструкций (2008)

По строению техногенный грунт представляет слоистую толщу. В большинстве случаев она многослойная. Толщина прослоев не выдержана по разрезу и площади. Однако, встречаются участки, где проводилась целенаправленная отсыпка однородного грунтового материала при работах по инженерной подготовке или планировке территории. В этих случаях техногенный грунт имеет слоистое строение с преобладанием слоя грунта одного состава по мощности.

Следующие разновидности культурного слоя выделены по преобладающему литологическому составу техногенных грунтов. Всего выделено 8 разновидностей КС.

В группу культурного слоя, состоящего из многослойного техногенного грунта с артефактами включены следующие разновидности.

КС с большим количеством слоев техногенных грунтов различного литологического состава.

Имеет наиболее широкое распространение по территории. По литологическому составу техногенные грунты очень разнородные, представлены в основном супесчаными и суглинистыми грунтами разной степени уплотненности со строительным мусором: известковой щебенкой, битым кирпичом, щепой, древесиной (Фото 14). Встречаются прослои пожарищ. В шурфе, пройденном у северной стены Братского корпуса, многослойный техногенный грунт мощностью 0,9 м состоит из темно-коричневых и чёрных прослоев глинистого грунта с многочисленными включениями щебня строительных материалов (Фото 16).



Фото 16. Многослойная толща техногенных грунтов у северной стены Братского корпуса (2000 г.)

КС, состоящий из многослойного техногенного грунта с присутствием слоев погребенного торфа и биогенного грунта.

Широко распространен на территории Нового города, в прибрежной части монастырской территории. Многослойность техногенной толщи осложняет присутствие слоёв с большим количеством органики, заторфованного грунта. Техногенные грунты, распространенные вдоль прясла между Казанской и Московской башнями, вскрытые при прокладке траншеи в 2005 г. имеют цвет тёмно-коричневый, иногда до чёрного, в составе грунтов присутствует органика и большое количество деревянных остатков [181]. В боковой стенке шурфа 44 (территория Нового города) (Фото 17) прослеживаются горизонты разного времени формирования, которые хорошо маркируются черным биогенным обугленным грунтом.



Фото 17. Техногенные грунты на территории Нового города, шурф 44.

(2000г.)

В группу КС техногенного квазиоднородного (с преобладанием слоя грунта одного состава по мощности) грунта с артефактами включены следующие разновидности:

КС состоящий из техногенного квазиоднородного (с преобладанием по мощности слоя грунта из кирпичного боя) грунта с артефактами.

Встречен на территории Ивановского монастыря, где техногенные грунты с большим количеством щебня кирпича формируют террасированный участок склона Ивановского холма, на котором выстроено здание Малых Больничных палат. Мощность слоя кирпичного боя составляет более 1,0 м. На территории, прилегающей к Казанской башне, во время производства работ по установке септиков, встречен КС состоящий из двух чётко

выраженных слоёв – коричневого суглинка, мощностью 0,25 м и слоя кирпичного боя мощностью до 0,5 м. (Фото 18).



Фото 18. Культурный слой, состоящий из двухслойной толщи техногенного грунта (с преобладанием по мощности слоя грунта из кирпичного боя) у Казанской башни. Фото Вороничевой О.В. 2007г.

КС состоящий из техногенного квазиоднородного (с преобладанием по мощности слоя органогенного техногенного грунта) грунта с артефактами.

Встречен на заболоченном участке около Казанской башни с внешней стороны крепостных стен, в долине р.Свияги. При бурении скважины 6 [167], расположенной около Косой башни у р.Свияги, встречен техногенный грунт с большим количеством органики, заторфованного суглинка мощностью до 5,1 м. В скважине 2 [167] мощность подобного техногенного грунта составила 0,7 м. Во время работ по прокладке коммуникаций около Казанской башни были вскрыты органогенные техногенные грунты (Фото 18) мощностью около 1,0 м.

КС состоящий из техногенного квазиоднородного (с преобладанием по мощности слоя глинистого техногенного грунта) грунта с артефактами.

Имеет достаточно широкое распространение на территории Успенского монастыря. На участке, прилегающем к ц. Введения, предположительно был сформирован в XVIII веке во время строительства колокольни. Вскрыт в 2004 г. во время планировочных работ и формирования дневной поверхности у ц. Введения (Фото 19, 20) Представляет собой толщу коричневого комковатого суглинка мощностью до 1,2 м, залегающего на хорошо

выраженном слое строительного мусора. Встречен, также, на участке, прилегающим к Успенскому собору с южной стороны.



Фото 19, 20. Характер напластования грунтов культурного слоя (техногенный грунт) в стенке траншеи у восточной стены ц. Введения

КС состоящий из техногенного квазиоднородного (с преобладанием по мощности слоя песчаного и супесчаного техногенного грунта) грунта с артефактами.

Имеет распространение в центральной части Успенского и Ивановского холмов, около Вологодской башни Нового города, на участках развития подстилающих техногенный грунт песчаных и супесчаных пород. Вскрыты в стенках шурфов, пройденных для изучения фундаментов ц.Иоанна Предтечи, Вологодской башни. Мощность техногенных грунтов достигает 1,2 м.

В группу КС с присутствием строительных конструкций в техногенном многослойном грунте включены следующие разновидности:

КС, состоящий из техногенного многослойного грунта, с присутствием конструкций из камня и кирпича (остатки фундаментов, кирпичной кладки стен и т.п.).

Имеет широкое развитие на территории монастыря. Активное хозяйственное развитие монастыря в XVI-XVIII в.в. сделало возможным строительство различных хозяйственных объектов, которые имели утилитарное назначение и ныне утрачены. Остатки этих построек в виде валунных фундаментов, фрагментов кирпичной кладки находятся в толще техногенных грунтов. Примеры подобных находок следующие.

Археологический раскоп, заложенный с западной стороны здания Трапезной палаты в 2001 году, показал наличие культурного слоя с большим количеством участков кладки валунных фундаментов [171].

Во время зондировочного бурения скважины (скв. 7) из траншеи, предназначенной для прокладки коммуникации, в 30 м от Московской башни, на глубине 0,8-0,9 м от поверхности были встречены валуны, которые пройти не удалось. Состав техногенного грунта в этом месте характеризовался большим содержанием угля, золы и резко отличался от состава грунтов в соседних точках. Вероятно, на этом участке территории существовало какое-то строение, ныне утраченное [181].

Во время комплексной реставрации караулен у Казанской башни в 2007 г. была пройдена разведочная траншея, вскрывшая в толще техногенных грунтов остатки кирпичной водоотводящей конструкции (Фото 10).



КС, состоящий из техногенного многослойного грунта, с присутствием деревянных конструкций (остатки деревянной выстилки, срубов и т.п.).

Подобное строение КС встречено на прибрежной территории, у крепостных стен XVI в. Успенского монастыря, около церкви Преображения. Здесь, при бурении скважин, в 1987 и 2002 г.г. на глубине около 2,0 м в техногенных грунтах был встречен бревенчатый настил,

прослеживаемый на значительное расстояние. Археологические раскопы 2007-2008 г.г. обнаружили элементы бревенчатой конструкции, занимающие значительную площадь (Фото 22).



Фото 22. Раскоп у трапезной палаты со стороны Сиверского озера

При исследовании фундаментов Успенского собора, в шурфе 6 на глубине около 1,0 м от поверхности выявлена загородка из небольших, вертикально вкопанных в землю вплотную друг к другу бревен, длиной не более 0,5 м. Назначение этой загородки, видом напоминающей шпунтовую стенку не ясно [180].

На основании имеющейся информации в 1990 г. была построена карта изолиний мощности техногенных отложений. На рисунке 14 представлена «Схема изолиний мощности техногенных накоплений на территории Кирилло-Белозерского музея-заповедника», с указанием изолиний мощности техногенных грунтов.

Мощность техногенных грунтов изменяется от 0,2 до 5,1 м, наименьшая мощность зафиксирована у Вологодской башни (скв. 16), где она составляет 0,2 м, у северо-западного угла Трапезной (0,35 м). Максимальная мощность зафиксирована у Косой башни (скв. 30) до 5,1 м.

Построенная карта позволяет оконтурить районы, в которых проводились целенаправленные работы по планировке территории (там мощность КС наибольшая) – это прибрежная часть Успенского монастыря, участок у Косой башни.

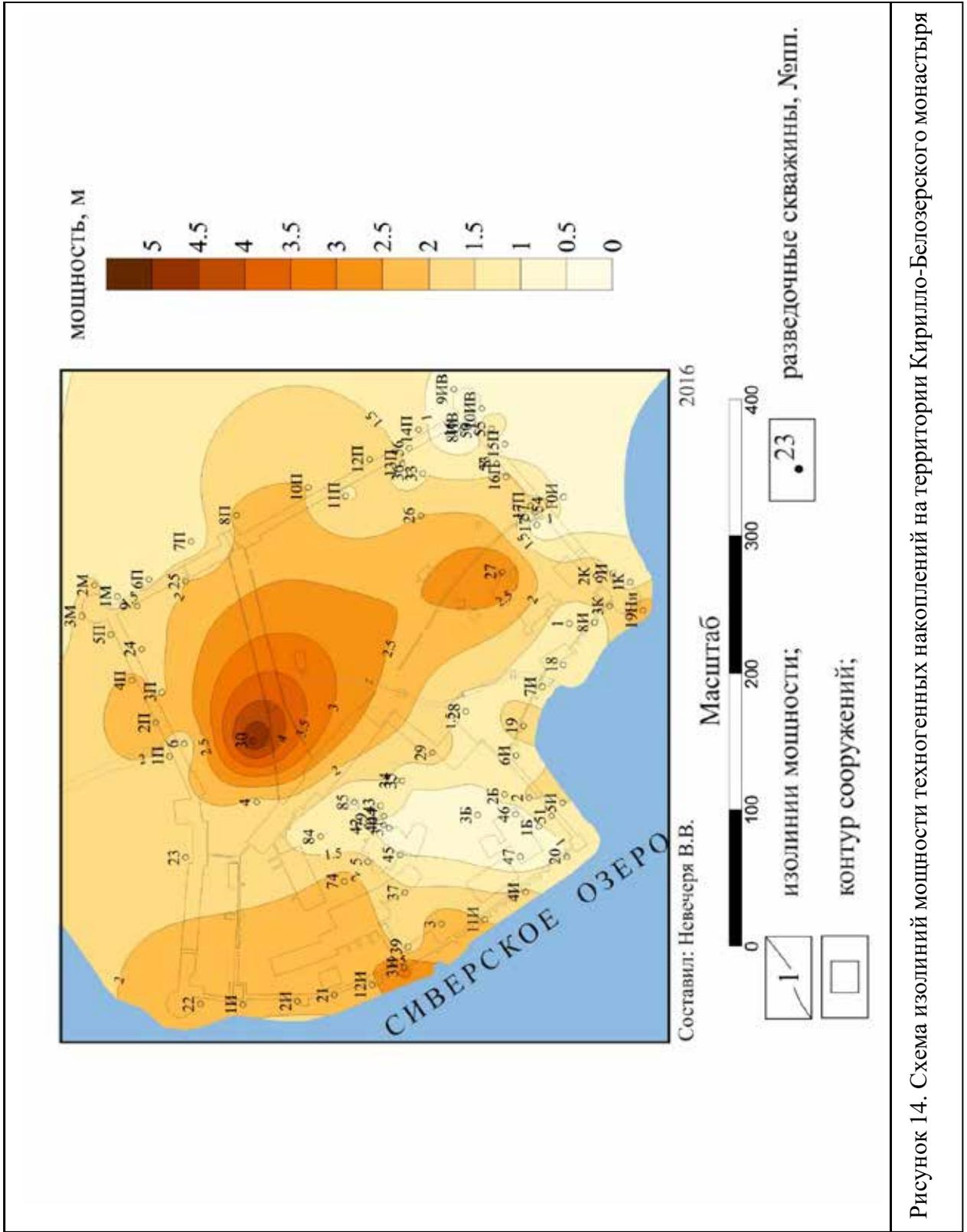
Некрополи

Центральные части Успенского и Ивановского холмов издревле использовались как **некрополи**. Известные захоронения размещаются в основном с восточной и северной сторон комплекса Успенского собора, ц. Архангела Гавриила, ц. Иоанна Предтечи, о чём свидетельствуют мраморные памятники на могилах купцов из рода Сизьминых, сохранившаяся чугунная сень над захоронениями купцов Симоновых.

Самыми распространенными надгробиями в XVI-XVII в.в. были надгробные плиты из валунов магматических пород. В музее более 150 таких памятников, большинство из них уложены в XVIII в. в мостовую, ведущую от ц. Кирилла Белозерского к ц. Введения. Эта мостовая является уникальной археологической находкой 1995 г. [45].

Во время исследовательских работ 2005 г., проводимых для сооружения дренажа вокруг Успенского собора [180], в шурфах у алтаря Успенского собора и у стен Северной паперти обнаружены остатки пяти погребений. Глубина размещения захоронений составила 0,8-1,0 м. Погребения монастырского некрополя значительно осложнили проведение земляных работ при сооружении дренажа вокруг Успенского собора.

Некрополи являются обязательной принадлежностью любого монастыря. Сложная история, отсутствие источников информации о местах захоронений, делают вероятным нахождение погребений во время земляных работ. Работы по изучению памятников монастырского некрополя будут продолжаться.



3.3.3. Характеристика подсистемы «трансформированные природные объекты» природно-трансформированной системы (ПТРС).

Выделение в структуре локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря природно-трансформированных систем связано с наличием на территории измененных ландшафтных объектов – реки Свяги и холмов, Успенского и Ивановского.

ПТРС реки Свяги.

Речка Свяга пересекает территорию монастыря в направлении с запада на восток. Попадает на территорию около Косой башни Нового города (Фото 23) через специальный проем в нижней части крепостной стены, огибает Успенский холм с севера, течет между Успенским и Ивановским холмами в южном направлении, впадает в Сиверское озеро недалеко от Глухой башни. Продольный профиль реки Свяги приведен на рисунке 15, из которого видно, как речка огибает территорию Успенского монастыря. До возведения крепостных стен Нового города, Свяга была элементом природной защиты монастыря. Речка имеет длинную историю эксплуатации, она всегда была в хозяйственном обороте, является местным базисом дренирования поверхностных и подземных вод.



Фото 23. Участок реки Свяги возле Косой башни Нового города

В настоящее время протяженность Свяги на территории монастыря составляет порядка 300 м. Ширина русла колеблется от 0,2 до 12,5. Максимальная глубина не более

1,2 м. Через речку переброшено три деревянных мостка. На 4 участках она заключена в бетонные трубные лотки диаметром 1,0 м. Протяженность этих участков составляет 38 м.

По данным геодезической съёмки, проходившей в июне 2014 г., и промеров глубин, построен профиль дна русла речки (рис. 15), с нанесением положения уровня воды на разных участках. Следует отметить, что замеры положения дна проводились последовательно на участке от устья до трубного лотка №4, выше по течению замеров нет. Профиль показывает, что как единый нормальный водоток в пределах монастырской территории речка Свяга не существует. Она представляет собой от устья до хозяйственного двора (лоток № 2) водоток в естественном русле, пережатый лотком №1. Отметки дна водотока изменяются от 115,99 до 116,69 м, что определяет уклон дна 1,13. Далее, на небольшом расстоянии друг от друга следуют два трубных лотка, причём, один из них (№2) появился в последние годы и представляет собой лоток, перекрытый железобетонными плитами. Общая длина лотка № 2 составляет 15 м.

Трубный лоток №3 имеет небольшую длину, абсолютные отметки дна лотка составляют 116,56 м и 116,66м, уклон лотка в сторону Сиверского озера.

Выше лотка №3 располагаются два больших водоёма шириной до 12,5 м, соединённые между собой закрытой бетонной трубой диаметром 1,0м (лоток № 4), по верху которого проходит дорога от Казанской башни к Святым воротам. Длина лотка №4 – 15 м, абсолютные отметки дна лотка 116,79 и 116,77м, уклон лотка в сторону Косой башни.

Параметры водоёмов, сформированных в русле р.Свяги, сведены в таблицу 8:

Таблица 8

Параметры водоёмов в русле р. Свяги

	Длина по руслу, м	Ширина max.,м	S, м ²	А.о. дна,м min/max	А.о.уровня воды 06.07.2014
Водоём 1	68,7	12,5	368	115,6/116,19	116,88
Водоём 2	68,1	10,4	422	Нет сведений	116,79

Как видно из таблицы, максимальная разница в отметках дна водоема 1 составляет 0,59 м. Максимальная глубина водоема – 1,28 м. Положение зеркала воды показывает направление течения в сторону Косой башни, т.е. в обратную сторону от Сиверского озера.

Уровень воды в водоёмах изменяется в зависимости от сезонных и климатических условий. В отдельные годы обнажается дно в проёме около Косой башни. Полностью речка и водоемы не пересыхают.

История формирования этих водоёмов связана с хозяйственным использованием речки в XVI-XVIII в.в. В XVI в., как свидетельствует Опись на речке находились две мукомольные мельницы. Для постройки мельниц необходима плотина с подъёмом уровня воды на высоту до 1,5-2,0 м. Расположение плотин, по верху которых осуществлялось движение, отмечено в Описи. Таким образом:

- в настоящее время речка Свияга представляет собой практически не проточный водоём с несколькими трубными перемычками и сформированными искусственными водоёмами;
- целенаправленные исследования по изучению гидрологических особенностей речки, истории формирования водотока, истории хозяйственного использования не проводились;
- неизвестен природный исток речки, в настоящее время она соединена с протокой, между Сиверским и Долгим озерами, искусственным каналом.

Для воссоздания исторической среды необходимы дополнительные исследования и проект реконструкции р. Свияги в новых условиях.

ПТС Ивановского и Успенского холмов.

В ландшафтном плане монастырь располагается на берегу Сиверского озера, на двух хорошо выделяемых в рельефе холмах Ивановском и Успенском, которые получили свое наименование по монастырям, располагающихся на них.

Холмы можно рассматривать как природно-трансформированные системы, в которых целенаправленно были изменены элементы природной ландшафтной системы. Так, была спланирована поверхность холмов и проведены работы по расширению их площади путем подсыпки (Ивановский холм), изменена форма поверхности склонов.

Наиболее хорошо выделяется в рельефе Ивановский холм – место, где поселился Кирилл Белозерский, придя на берег Сиверского озера [57] (Фото 24) Успенский холм – центр Успенского монастыря, ядро всего архитектурного ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря, в настоящее время слабо выражен в рельефе из-за плотной застройки. Морфометрические параметры холмов приведены в таблице 9.

Морфометрический профиль через центральную часть Ивановского холма в направлении запад-восток приведен на рисунке 16. Профиль показывает ассиметричность холма, четкую выраженность склонов в рельефе.

Морфологические параметры холмов

Холмы	Абс. отм. поверхн. м/ высота.м (над озером)	S, м ² вершин	Крутизна склонов	Планировка	Застройка
Ивановский	125,88/ 8,0	750	<15°	Расширение площади путем подсыпки, террасирования	3 капитальных постройки Ивановского монастыря
Успенский	121,68/ 4,0	более 2000	<15°	Уполаживание склонов.	Основная часть построек Успенского монастыря

Ивановский холм – самая высокая часть территории монастыря (125,88м) и по легенде именно здесь обосновался преподобный Кирилл. На северо-западном склоне холма сохраняются каменная сень над местом землянки и древней бревенчатой часовни преподобного Кирилла (Фото 24). Ивановский холм хорошо выражен в рельефе четкими склонами с трёх сторон, вытянут в северо-западном направлении. Склоны с южной и восточной сторон были террасированы во время постройки церкви преподобного Сергия Радонежского с Трапезной палатой и Малой больничной палаты. С восточной стороны площадь холма была расширена за счет подсыпки.



Фото 24. Вид на Ивановский холм со стороны Нового города

Довольно крутые склоны Ивановской горки, незначительная площадь её вершины, а также незащищенность территории с северной стороны не позволили строителям прошлого возводить здесь крупные постройки и центральной частью всего монастыря стал Успенский холм.

Успенский холм вытянут в южном направлении вдоль озера. В настоящее время только фрагмент южного склона холма выражен в рельефе. На поверхности холма располагается основная часть построек Успенского монастыря, в том числе самая древняя постройка – Успенский собор. Вся поверхность холма, с том числе и склонов спланирована. С южной стороны, вдоль стен ц. Гавриила и Колокольни, в XVIII в. проведена отсыпка земляной призмы, сформировавшей новую поверхность склона.

Таким образом, Ивановский и Успенский холмы – значительно измененные природные ландшафтные объекты, которые могут быть рассмотрены как природно-трансформированные системы.

3.3.4. Характеристика подсистемы «Сооружения» элементарных ПТС.

Новое капитальное строительство, влекущее за собой создание новых природно-технических систем, на территории монастыря не велось с конца XIX в. Во второй половине XX в. началась активная музеефикация исторического ансамбля и благоустройство территории, что потребовало решения проблемы центрального отопления и прокладки инженерных сетей. Проблема с централизованным отоплением зданий решилась путем устройства местной котельной в торце Братского корпуса, которая работает до сих пор. В качестве топлива используется уголь.

Особенно активно прокладка новых и модернизация старых инженерных сетей начала осуществляться с начала 2000-х годов. Прокладка коммуникаций осуществляется в траншее глубиной 1,0-1,5 м. В 2011 году начались и были завершены работы по созданию защитных дренажных сооружений вокруг Успенского собора.

Размещение инженерных сетей на территории связано с расположением главных экспозиционных и служебных зданий музейного комплекса. На карте-схеме размещения инженерных сетей (Рис. 17) на территории видно, что подавляющее большинство коммуникационных объектов приурочено к территории Успенского монастыря, где сосредоточены центральные объекты музейного показа и административные службы.

В настоящее время на территории монастыря присутствуют следующие виды инженерных сетей.

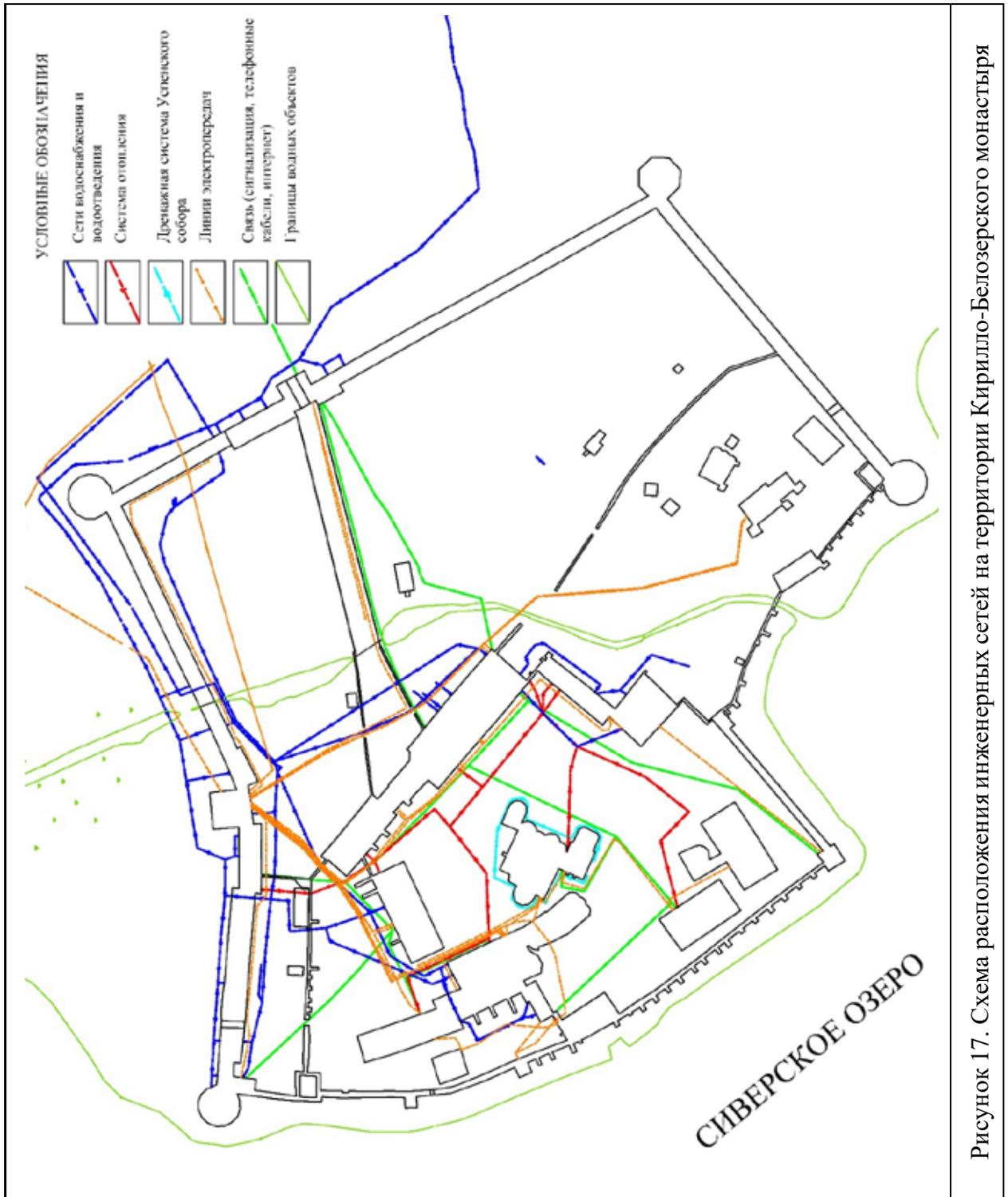


Рисунок 17. Схема расположения инженерных сетей на территории Кирилло-Белозерского монастыря

Водопровод.

Самая старая (по возрасту) инженерная сеть, первая ветка была проложена в 60-е годы, в 2005 году проложена вторая ветка водопровода (Фото 25). Является ответвлением городской водопроводной сети. Вводы на территорию монастыря находятся на участке прясла крепостной стены между Косой и Ферапонтовской башнями, рядом с арочным проемом в крепостной стене для речки Свяги и на участке прясла от Казанской до Московской башен. Диаметр стальной водопроводной трубы изменяется от 20 мм до 100 мм (отвод от магистрального). Главная разводка водопровода и колонка находятся рядом с Косой башней. В настоящее время часть первой ветки водопровода не эксплуатируется.



Фото 25. Траншея, пройденная по направлению к Косой башне, вдоль прясла крепостной стены между Косой и Московской башнями.

Тепловые сети.

Появились в конце 70-х годов XX в. после строительства котельной. Представляют собой систему труб и колодцев. Трубы стальные диаметр от 50 до 100 мм. Колодцы диаметром 1,2 м, глубиной до 2,0 м. Централизованным теплоснабжением обеспечены большинство исторических сооружений Успенского монастыря.

Канализация и септики.

Проблемы канализации на современном уровне стали решаться с конца 90-х годов XX в. Сначала были построены септики у архива и около Братских келий. В настоящее время по территории проложены канализационные полиэтиленовые трубы диаметром 110

мм, соединенные с канализационными трубами «экофлекс» диаметром 250 мм, проходящими снаружи монастыря вдоль западных и северных крепостных стен, и подключённых к городской канализационной системе.

Кабельные коммуникации.

Развитие современных коммуникаций сделали необходимым прокладку кабельных сетей разного назначения. Все они сосредоточены в центральной части Успенского монастыря и имеют выход на городскую территорию.

Защитные сооружения – дренаж вокруг Успенского собора был построен в 2011г. Работы по сооружению дренажа были начаты ООО «Электра» в июне 2011 г. по проекту, разработанному в 2007 г. ЗАО «Инженерная консультационная компания «Совинтервод» [165].

Проект дренажных мероприятий был разработан на основе материалов инженерно-геологических исследований, выполненных кафедрой инженерной геологии РГГРУ в 2005 г. [180].

Целью проектируемых мероприятий являлось улучшение влажностного режима грунтов обратной засыпки фундаментов Успенского собора, ликвидация техногенного водоносного горизонта в валунных фундаментах ц. Епифания, ц. Владимира, апсиды Успенского собора. Проектом предусматривалось создание системы кольцевого дренажа.

Кольцевой дренаж представляет собой горизонтальную траншею, вокруг комплекса Успенского собора, на дно которой уложены дренажные пластиковые перфорированные трубы «Uropog tuple», диаметром 110/95 мм, обсыпанные песчано-гравийной смесью оптимального состава (Фото 27). На границе контакта обсыпного фильтра и грунта траншеи укладывается геотекстиль КМ 1/250. Уклон дрен в сторону водосброса принят минимально допустимым ($i = 0.002$). На углах поворота дрен с углом поворота $\leq 90^0$ предусмотрены смотровые колодцы Uropog 315 с крышкой (Фото 28), а изменения направления трассы с углом поворота $\geq 90^0$ осуществляется с помощью гибких раструбных отводов Uropog. Эвакуация влаги осуществляется самотеком в поглощающие колодцы, расположенные у южной стены ц. Кирилла (Фото 26).



Для устранения увлажнения стен и поверхностей фундаментов предусмотрено устройство пристенного дренажа из двухслойного дренажного полотна.

Таким образом, в настоящее время на территории монастыря идет активное сооружение и развитие инженерных сетей и защитных сооружений. Происходит изменение и усложнение структуры локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря.

3.4. Характеристика подсистемы «Сфера взаимодействия объектов локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой»

Структурное строение локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря позволяет рассматривать подсистему «СВ» без привязки к конкретным сооружениям и объектам. В

разделе сначала рассматривается изученность геологической среды как подсистемы локальной ИПТС, потом приводится краткое инженерно-геологическое описание.

3.4.1. Изученность подсистемы «Сфера взаимодействия объектов локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой».

Этапы изучения «СВ»

Изучение геологической среды как основания памятников архитектуры Кирилло-Белозерского монастыря было начато по инициативе С.С. Подъяпольского с начала 1950-х годов [167].

В 1952-1953г.г. на территории монастыря были проведены первые геологические изыскания и топографическая съемка масштаба 1:500 (в относительных высотных отметках поверхности). Изыскания 1953 г. включали в себя бурение 32 скважин глубиной от 2,5 до 5,0 м, построение литологических разрезов скважин и геолого-литологических профилей по скважинам (9 профилей). Месторасположение скважин было нанесено на топоснову.

В архиве ЦНРПИМ сохранились литологические колонки скважин и геолого-литологические профили. Текст отчета по изысканиям в архиве отсутствует. Во время подготовки отчета 2003 [172] для создания базы данных, был составлен каталог скважин 1953 г., они перенесены на современную топографическую основу, им присвоены условные абсолютные отметки. Описание скважин было использовано при построении карты инженерно-геологических условий и характеристики основания памятников.

Изыскания 1953 г. были недостаточно детальными. Самым большим недостатком изысканий было отсутствие опробования скважин и лабораторного изучения грунтов. Внешний рецензент Раца Д.Н. из Ленинградского государственного института изысканий и проектирования объектов водного транспорта, в своей рецензии [172] подчеркнул отсутствие «какой-либо закономерности в распределении различных литологических разностей как в плане так и в вертикальном разрезе», подтвердил вывод о том что «грунты участка в целом не являются благоприятным основанием для сооружений». На основании этого было принято решение о дополнительных геологических изысканиях и в 1956 году они были проведены.

В 1956 г. на территории монастыря было пройдено 35 скважин глубиной от 5,0 до 8,0 м, построены литологические колонки, инженерно-геологические профили, карта фактического материала, шесть «карт-срезов» на глубины 1,2,3,4,5, 8 м. К сожалению, большая часть материалов изысканий 1956 г. в настоящее время утрачена, сохранились литологические колонки скважин и разрезы, но их использование невозможно из-за отсутствия привязок скважин к плану.

После 1956 г. до 1987 г. проходка геологических скважин на территории музея не проводилась, но постоянно велись археологические работы, изучавшие культурный слой. В 1968 году была проведена «археологическая разведка» на территории Успенского монастыря [172] с целью установления уровней дневной поверхности у основных сооружений монастыря. Было пройдено 20 шурфов. Следует отметить, что поскольку целью работ не являлось изучение конструкции фундаментов памятников, проходка шурфов часто останавливалась, не достигнув подошвы фундаментов. Также не проводилось описание природных грунтов (иногда ограничивалось одним словом – «материку») и их опробование.

В 1987 году по инициативе профессора кафедры инженерной геологии МГРИ Е.М. Пашкина и директора музея Н.И. Терентьевой началось систематическое изучение строения сферы взаимодействия памятников с геологической средой силами сотрудников и студентов кафедры инженерной геологии. Ответственным исполнителем работ была аспирантка кафедры В.О. Подборская. В 1987-1988 г.г. на территории музея-заповедника было пробурено 23 скважины глубиной 8-15 м. Бурение сопровождалось опробованием и лабораторным изучением физико-механических свойств грунтов. Кроме этого было проведено статическое зондирование и опытное определение свойств грунтов крыльчаткой. Бурение выполнялось Вологодским отделением Верхне-Волжского ТИСИЗа [164]. Результаты исследований были обработаны и представлены в отчетах МГРИ [161,169]. Параллельно с этим проводилось изучение строения фундаментов основных памятников шурфами и, под руководством профессора Невечери В.Л., создание режимных сетей мониторинга для наблюдений за динамикой колебания уровня грунтовых вод, сезонным промерзанием грунтов, криогенным пучением грунтов при их сезонном промерзании.

В 1989-1990 г.г. продолжались работы по созданию режимных сетей, изучению фундаментов памятников, было проведено зондировочное бурение по профилям через рвы, окружающие стены Нового города.

В 1991-1999 г.г. инженерно-геологические исследования поддерживались в основном инициативой В.Л. Невечери и носили характер прогнозной оценки режима функционирования памятников, основанной на результатах проведения наблюдений по режимным сетям. В 1993-1994 г.г. были предприняты работы по улучшению влажностного режима грунтов основания Успенского собора – пробурены и оборудованы четыре дренажные скважины для сброса воды.

В этот период (середина 90-х годов) начались планомерные археологические работы на территории музея НПЦ «Древности Севера» под руководством Н.А.Макарова и И.В.Папина, включавшие в себя проведение крупномасштабных раскопок.

В 2000-2007 г.г. проводилось детальное изучение строения СВ комплекса Успенского собора, прясел крепостных стен Нового города от Вологодской до Казанской и от Вологодской до Кузнечных башен, которое сопровождалось проходкой шурфов и бурением разведочных и зондировочных скважин [171-173].

С 2014 г. работы по инженерно-геологическому изучению участков территории монастыря для обоснования проектов реставрации отдельных памятников (крепостных стен XVI в., башен Нового города и др.) ведутся сотрудниками ООО «ИГИТ» [174-179].

Виды и объемы проведенных инженерно-геологических работ.

Строение сферы взаимодействия (геологической среды) изучается прежде всего горно-буровыми методами – методами проходки буровых скважин и шурфов. Проходка горных выработок сопровождается литологическим описанием пород, отбором образцов грунта для определения физико-механических свойств, гидрогеологическими наблюдениями. Кроме этого, используются специальные методы исследования – зондирование статическое и динамическое, опытные работы, геофизические методы. Эти методы различны по своей целевой направленности, информативности, стоимости. На территории КБМ применялись в основном бурение скважин и проходка шурфов, а также статическое зондирование до глубины 15,0 м и испытание грунтов с помощью крыльчатки.

В таблице 10 представлены виды и объёмы инженерно-геологических работ, проведенных для изучения геологической среды в 1987-2015 г.г.

Таблица 10

Виды и объемы инженерно-геологических работ, проведенных на территории Кирилло-Белозерского монастыря

Год	Буровые и специальные методы	Проходка шурфов
1953	31 скважина, h =2,5-5,0 м	Проходка шурфов около отдельных памятников и по территории
1956	35 скважин, h =5,0-8,0 м	
1956-1986 г.г.	-	
1953-1986	Всего: 66 скважин	Всего:
1987	Скважины № 1-15, 8 скв. h до 11м, 8 точек статического зондирования, лабораторное определение свойств грунтов	Шурфы №1-19 (МГРИ)
1988-1990	Скважины № 16-41, 15 скв. h до 15 м, 10 точек статического зондирования, опытные работы (крыльчатка)-5, 11 скважин из шурфов	Шурфы №20-35 (МГРИ)
1991-1999	Скважины № 42-51- отдельные скважины специального назначения	Шурфы № 36-42(МГРИ), археологические раскопы.
2000-2007	Скважины № 53-85. Скважины из шурфов, профиля зондирования, специальные скважины	Шурфы № 43-83(МГГРУ), археологические раскопы.
1987-2007	85	83 (МГРИ-МГГРУ)

Год	Буровые и специальные методы	Проходка шурфов
2014-2015	Разведочные скважины – 14, точек статического зондирования, лабораторное определение свойств грунтов проведенные ООО «ИГИТ»	Шурфы -16

Всего на территории музея в 1987-2015г.г. пробурено 98 скважин. Максимальная глубина скважины составила 30 м. Общие данные по горным выработкам (номера, абсолютные отметки поверхности, глубина) сведены в каталоги. Расположение горных выработок приведено на карте-схеме фактического материала (Рис. 17), где разным цветом показаны выработки, пройденные в разные периоды времени.

Скважины по глубине распределяются следующим образом (табл. 11)., рис. 18.

Таблица 11

Количество и глубина скважин, пройденных на территории Кирилло-Белозерского музея заповедника в 1987-2015 г.г.

Глубина скважин, м	<4,0	4,0-8,0	8,0-12,0	12,0-16,0	>16,0
Количество скважин	33	27	13	19	6

Как видно из таблицы, большинство скважин – 60, имеет глубину меньше 8,0 м, что не соответствует глубине СВ элементарных ИПТС.

Общее количество горных выработок не является самоцелью. Вопрос оптимального количества информации, необходимой для принятия адекватного решения, является краеугольным вопросом методики проведения исследований. В данном случае имеющаяся информация инженерно-геологического характера, – разновременная, разноцелевая по характеру, неодинаковая по представительности.

Шурфы, пройденные на территории, в большинстве своём, детально не характеризуют вскрытый фундамент: часто не определялась высота фундамента, не фиксировалось наличие свайного основания и не определялась степень сохранности свай. Грунты, залегающие в основании фундамента, иногда, просто не описаны, не охарактеризованы, их физико-механические свойства не определены.

Скважины характеризуют разрез на разную глубину, с разной степенью детальности. Во многих скважинах не проводилось инженерно-геологическое опробование и лабораторное изучение свойств грунтов (в скважинах 1953 года), что не даёт возможности реально сопоставить выделенные разновидности грунтов, определить несущие свойства.

Таким образом, общие объёмы проведенных работ довольно велики, но они позволяют, во многих случаях получить лишь общую и разрозненную информацию о строении «СВ».

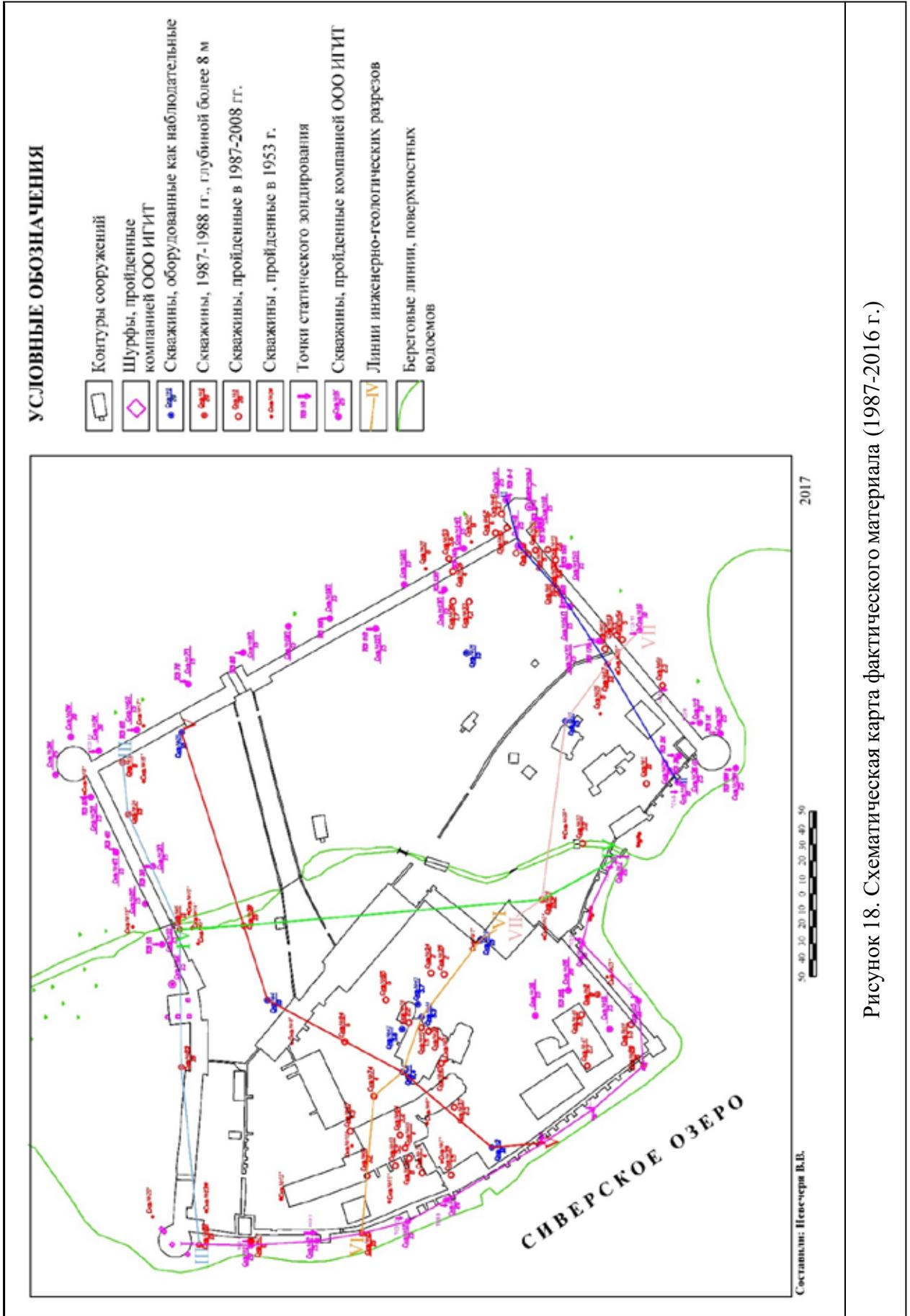


Рисунок 18. Схематическая карта фактического материала (1987-2016 г.)

3.4.2. Краткая характеристика подсистемы «СВ» локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря

В качестве способа наглядного представления строения «СВ» используется картографическая модель, представляющая собой инженерно-геологическую карту территории. По ней можно оценить сложность строения «СВ», ведь как известно: картографические модели обладают наибольшей информативностью и такими полезными свойствами, как абстрактность, избирательность, синтетичность, наглядность и измеримость [121,126].

На основе имеющейся информации были построены на топографической основе 2014 г. масштаба 1:500:

- актуализированная схематическая карта фактического материала (Рис.18);
- актуализированная схематичная карта инженерно-геологических условий территории монастыря (Рис.19);
- схематические инженерно-геологические разрезы и условные обозначения к ним (Рис.20 – 28);
- карта изолиний мощности техногенных накоплений (Рис.14);
- карта изолиний абсолютных отметок кровли валдайской морены (Рис.28).

При построении карт использовались фондовые материалы исследований 1957-2007 г.г. [164,167,168,180] схематическая карта инженерно-геологических условий 2003 г [172], данные бурения и зондирования, полученные в 2015- 2016 г. г. [174-179]. При построении карт и разработки легенд были использованы принципы построения картографической модели Рязанского кремля [121].

На актуализированной карте фактического материала показаны все источники фактографической информации, положенные в основу построения комплексных карт.

На актуализированной карте инженерно-геологических условий показаны: распространение стратиграфо-генетических комплексов отложений (СГК), подстилающих техногенные грунты культурного слоя; слагающие СГК типы грунтов по действующей классификации [21] с выделением участков распространения специфических грунтов и характеристик литологических особенностей пород, изолинии мощности техногенных грунтов культурного слоя, и кровли моренных образований, глубины залегания грунтовых вод, участки проявления экзогенных геологических процессов. На карте выделены участки (центральная часть территории Нового города), где нет геологической информации, они представлены как «белые пятна». Карта сопровождается инженерно-геологическими разрезами и условными обозначениями к ним (Рис. 19 – 27), построенными с привлечением новых материалов 2015–2016 г.г [174-179].

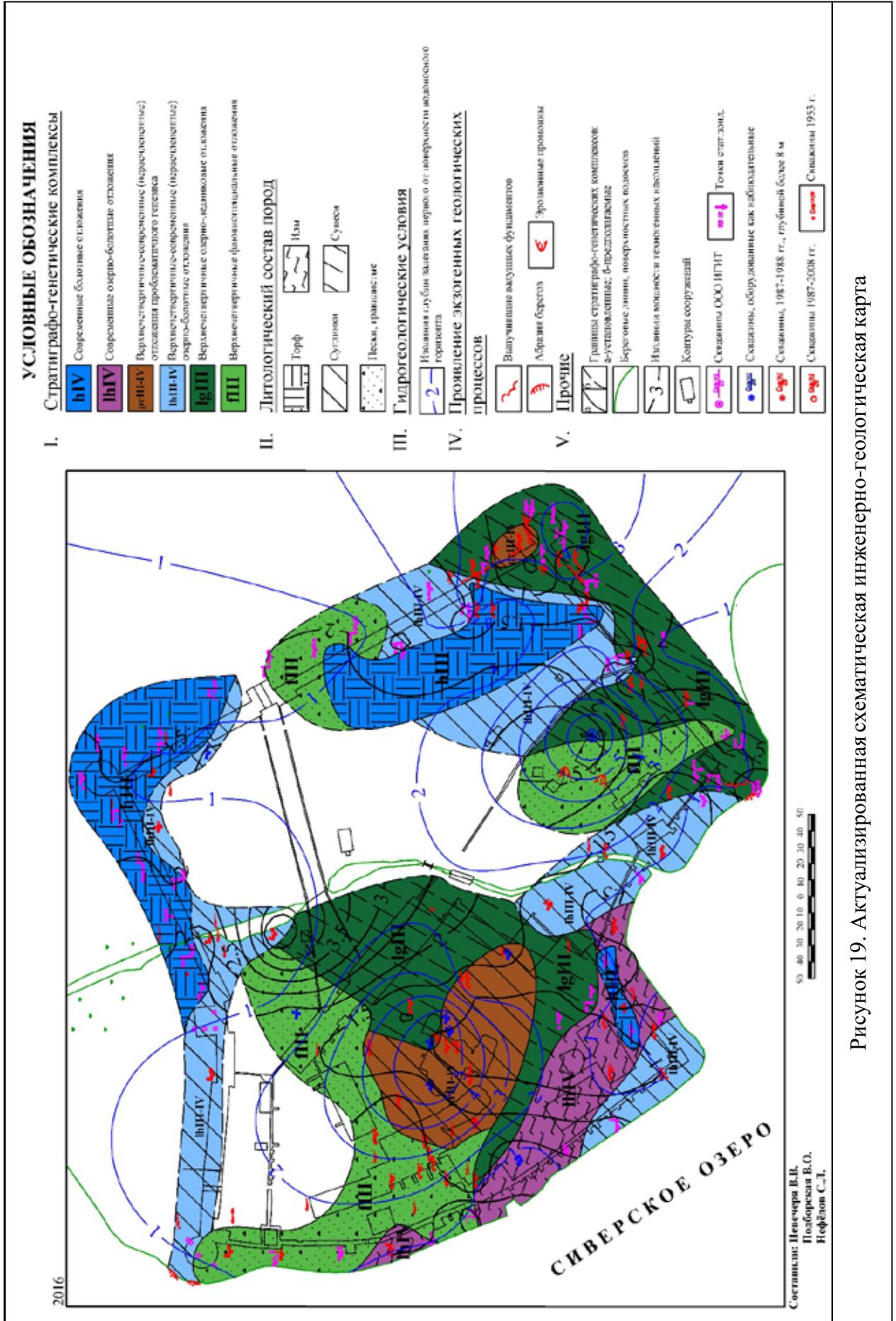


Рисунок 19. Актуализированная схематическая инженерно-геологическая карта

Схематический инженерно-геологический разрез по линии III-III

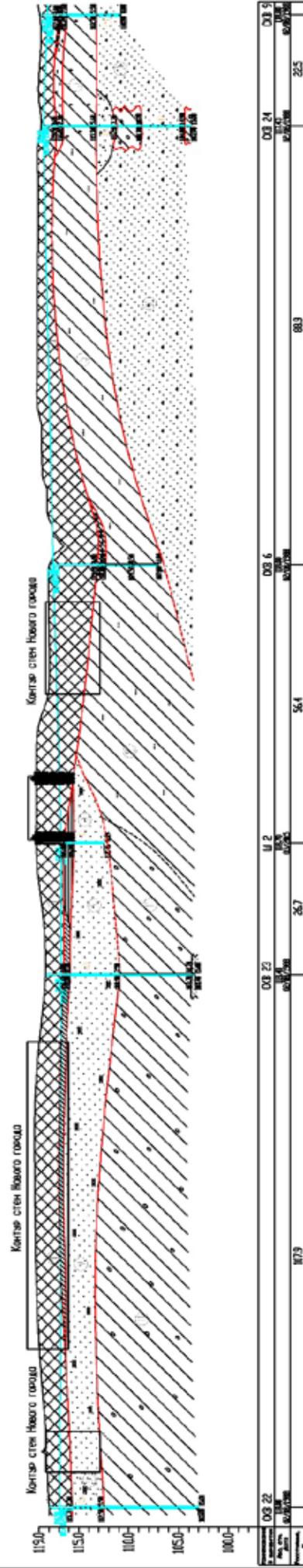


Рисунок 22

Схематический инженерно-геологический разрез по линии IV-IV

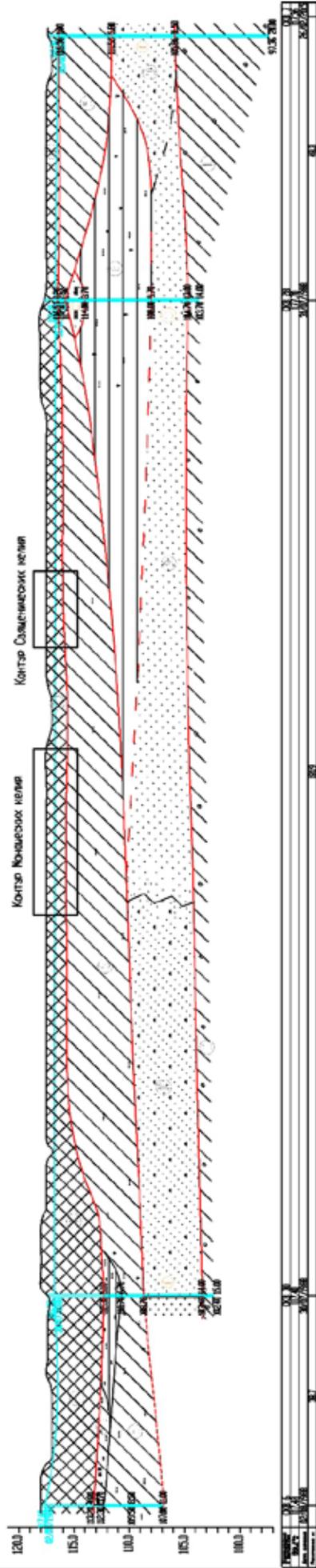


Рисунок 23

Схематический инженерно-геологический разрез по линии V-V

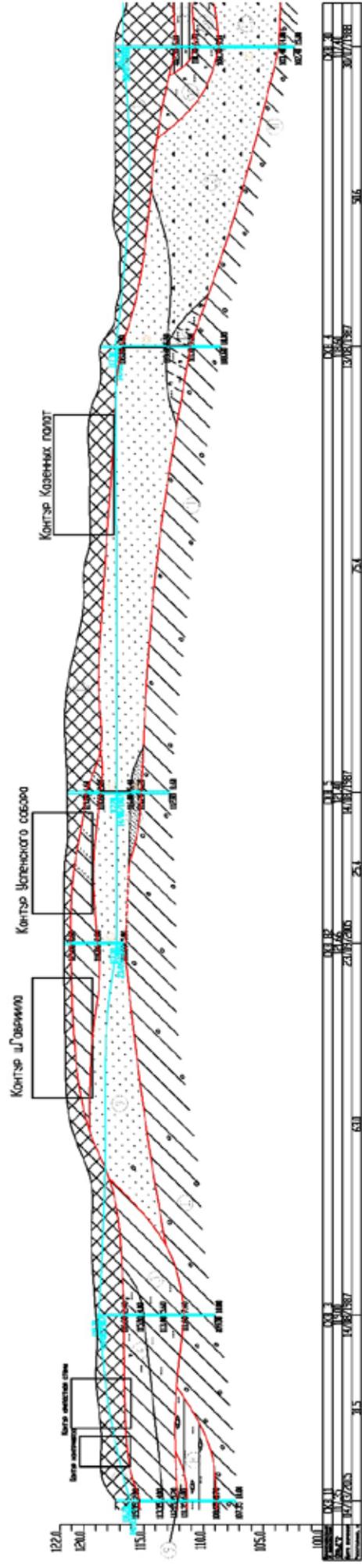


Рисунок 24

Схематический инженерно-геологический разрез по линии VI-VI

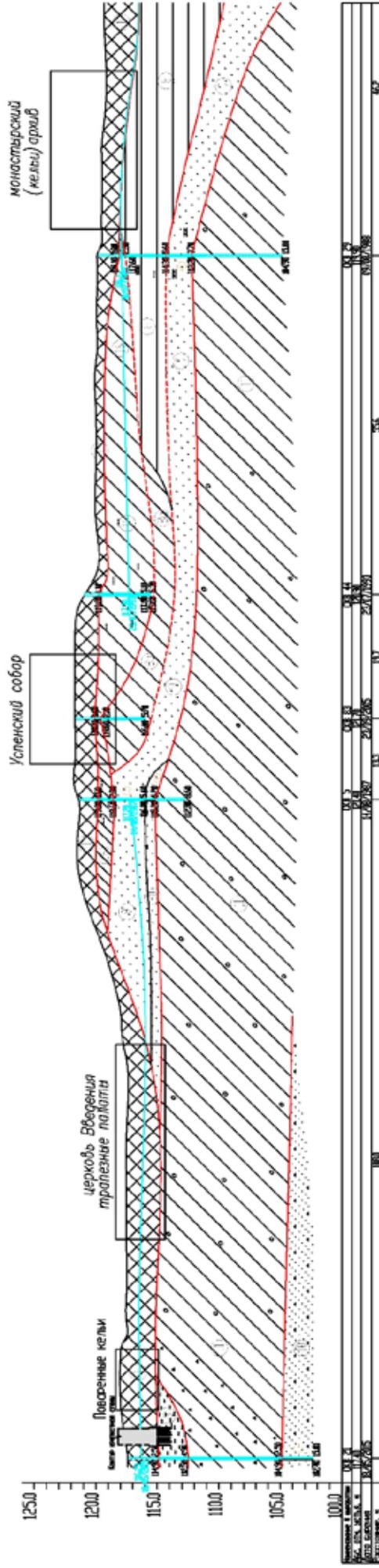
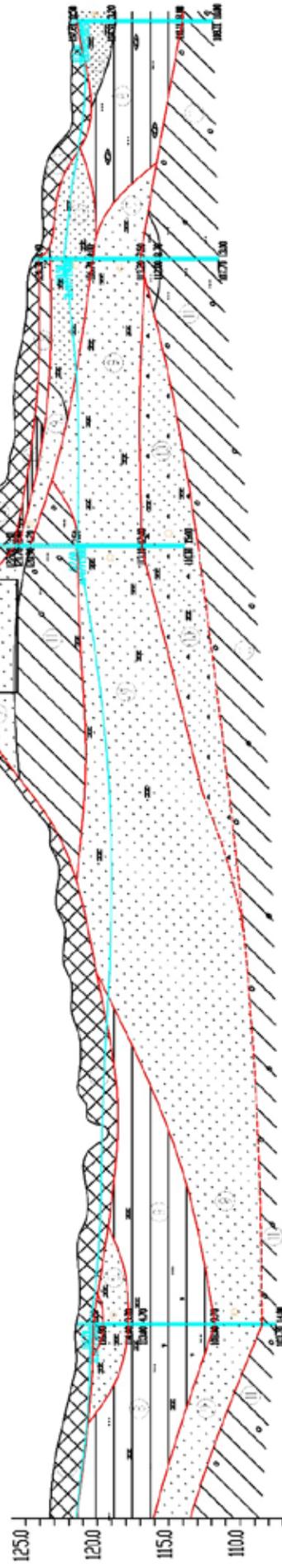


Рисунок 25

Схематический инженерно-геологический разрез по линии VII-VII

Церковь
Иванна Предтечи



100.0	100.7	101.7	101.7	101.1
105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
110.0	110.0	110.0	110.0	110.0
115.0	115.0	115.0	115.0	115.0
120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
4.2	4.4	4.4	4.4	4.0
3.0/7/588	3.0/7/588	3.0/7/588	3.0/7/588	28/2/305
10.7	10.7	10.7	10.7	10.7

Рисунок 26

Рисунок 27 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
К СХМАТИЧЕСКИМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ РАЗРЕЗАМ

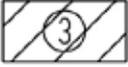
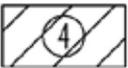
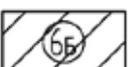
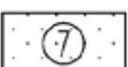
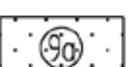
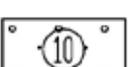
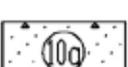
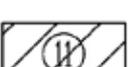
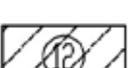
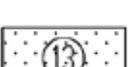
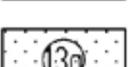
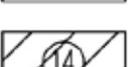
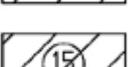
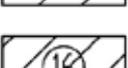
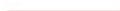
	Техногенные накопления супесь темно-серый, с песчано-глинистым заполнителем, с вкл. щебня кирпича, с вкл. мусора строительного, tQIV	
	Торф темно-коричневый, среднеразложившийся, tQIV	
	Ил глинистый темно-серый, текучепластичный, с примесью органических веществ и торфа, tQIV	
	Суглинок текучий, серый, легкий, с примесью органического вещества, tQIV	
	Суглинок мягкоплст., tQIII-IV	
	Глина тугоплст., светло-серая, легкая, с примесью органического вещества, tQIII-IV	
		Суглинок текучеплст., серо-коричневый tQIII
	Суглинок мягкоплст., серо-коричневый, легкий, с редким вкл. гравия известняка, tQIII	
	Песок мелкий ср. плотн., средней степени водонасыщения и насыщенный водой, tQIII	
	Глина тугоплст., серая, с, с линзами суглинка, с редкими прослоями песка, tQIII	
	Песок средней крупности ср. плотн., насыщенный водой, fQIII	
		Песок средней крупности рыхлый, серый, с прослоями супеси, fQIII
	Песок гравелистый ср. плотн., серый, насыщенный водой, fQIII	
	Песок гравелистый рыхлый, насыщенный водой, серый, fQIII	
		Песок гравелистый плотный, насыщенный водой, fQIII
	Суглинок тугоплст., темно-серый, с вкл. до 20% гравия, гальки и валунов магматических пород, gQIIIvd	
	Супесь пластичная, серая, fQIII	
	Песок пылеватый ср. плотности, средней степени водонасыщения и насыщенный водой, серовато-желтый, с редким вкл. гравия магматических пород, с прослоями супеси tQIII	
	Песок пылеватый рыхлый, серовато-желтый, с вкл. до 20% гравия магматических пород, с прослоями супеси, средней степени водонасыщения и насыщенный водой, tQIII	
	Суглинок полутврд., серый, с вкл. до 20% гравия, гальки, валунов магматических пород, gQIIIvd	
	Суглинок твердый, коричневый, с вкл. до 30% гравия, гальки карбонатных пород, щебня магматических пород, gQIIIms	
	Суглинок коричневый, комковатый, покровный тугопластичный pr III-IV	

Рисунок 28 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

① Номер инженерно-геологического элемента (ИГЭ)

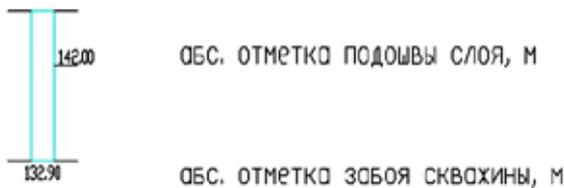
Обозначение состояния грунта	Консистенция глинистых грунтов		Степень влажности песчаных грунтов
	глина и суглинок	супесь	
	твердая	твердая	малой степени водонасыщения
	полутвердая	—	—
	тугопластичная	—	—
	мягкопластичная	пластичная	средней степени водонасыщения
	текучепластичная	—	—
	текучая	текучая	насыщенные водой

Г Р А Н И Ц Ы

-  СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ
-  ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ
-  ГРАФИК СТАТ. ЗОНДИРОВАНИЯ

БУРОВАЯ СКВАЖИНА

скв. 1 номер скважины
142.90 абс. отметка устья, м



 132.24 абсолютная отметка уровня грунтовых вод, м
0.05.07 дата замера



Необходимо подчеркнуть, что значительная сложность и неоднородность геологического строения, отсутствие четкой геологической гипотезы, недостаток информации, делает проведенные границы СГК достаточно условными.

Геолого-геоморфологические условия и стратиграфо-генетические комплексы (СГК)

Характеристика инженерно-геологических условий территории, окружающей Кирилло-Белозерский монастырь приведена выше в разделе 3.1. Район располагается в краевой зоне последнего валдайского оледенения, и это предопределяет сложность геоморфологического и геологического строения. Территория характеризуется значительной литологической изменчивостью пород, трудностями в стратиграфическом расчленении разреза. Граничное местонахождение района и недостаточно детальные геолого-геоморфологические исследования создают значительные трудности в идентификации конкретных структур при исследованиях на локальных площадках [166,167].

Территория Кирилло-Белозерского монастыря, площадью около 9 гектаров, располагается на северном берегу Сиверского озера и характеризуется неоднородным рельефом, в котором выделяются Ивановский и Успенский холмы, разделяемые речкой Свягой. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 116,94 м до 125,88 м. Морфометрические параметры холмов и речки приведены в разделе 3.3.3.

В геологическом строении территории на глубину до 25,0 м в настоящее время можно выделить 9 стратиграфо-генетических комплексов (Таблица 12). Описание СГК, развитых на этой части территории приводится ниже. Дифференциация по возрасту достаточна условна, относительно определенно можно говорить лишь о возрасте моренных отложений, для остальных пород возраст принят условно по последовательности залегания толщ.

Сложность и изменчивость геологического разреза. В зонах развития ледниковых образований седиментационные циклы начинаются накоплением водно-ледниковых осадков, сменяющихся моренными отложениями, а завершаются водно-ледниковыми и межледниковыми осадками [43,44]. Вследствие воздействия экзорационных и эрозионных процессов не все звенья цикла сохраняются, да и не всегда образуются на конкретных участках.

Необходимо отметить, что значительная изменчивость в латеральной плоскости и в разрезе не даёт возможности однозначно осветить геологическое строение даже тех участков, по которым имеется довольно большой объём геологической информации. Так, строение «СВ» Успенского собора, располагающегося на Успенском холме, изучалось скважинами и шурфами. Первоначальная гипотеза геологического строения, основанная на

данных бурения 1987-1988 г.г. была значительно скорректирована при проходке скважин вертикального дренажа в 1993 году [180]. Скважины размещались на расстоянии 10-15 м друг от друга.

Первоначально предполагалось, что центральная часть Успенского монастыря располагается на типично водно-ледниковом холме, очертания которого совпадают с очертаниями современного рельефа. В настоящее время установлено, что геологическое строение холма более сложное и имеются, как минимум, две геологические структуры, граница между которыми проходит прямо через Успенский собор, что хорошо видно на разрезе. (Рис.26, 27)

Подобная изменчивость наблюдается на участках в районе ц. Преображения, около Вологодской башни, где отмечается смена литологического состава пород на незначительном расстоянии.

Сложность геологического строения и идентификации отложений, обуславливается наличием на территории двух горизонтов моренных образований. Первый (верхний) из них представлен моренными суглинками красновато-коричневыми, бурыми. Горизонт распространен локально, встречен на Ивановском холме (скв.27), залегает на глубине 5,8 м (отметка кровли 120,9 м, подошвы – 117,6), его мощность – 3,3 м. Перекрывают отложения пески средней крупности со знаками ряби (шурф17), подстилают гравелистые пески.

Второй (нижний) моренный горизонт, широко распространен, представлен суглинком серым и темно-серым. Абсолютные отметки кровли горизонта изменяются от 100,85 до 115,2 м. Но в некоторых скважинах (6, 16, 25) моренный суглинок не встречен до отметок 104,5 м. Максимальная вскрытая мощность отложений составляет 9,5 м (скв.22). Разное высотное положение в разрезе, цветовое отличие, делает обоснованным предположение о разном возрасте этих горизонтов, а развитие песчаных отложений (видимо флювиогляциальных) в кровле и подошве образований (участок, прилегающий к Белозерской башне, (Рис. 19)), говорит о динамике края ледника.

Возможно, два горизонта моренных суглинков (коричневый и серый) характеризуют две стадии валдайского ледника, а возможно коричневый суглинок, залегающий выше по отметкам, имеет валдайский возраст, а серый – московский. Вопрос об этом остается открытым и требует дальнейшего рассмотрения. Недостаток информации (в частности палинологических данных) затрудняет расчленение разреза, отнесение межморенных толщ к определенным стратиграфическим горизонтам. Для этого приходится выделять комплекс литологически сходных отложений, проследивать его пространственное распространение, сопоставлять с региональным разрезом, а стратиграфическое положение большинства отложений устанавливать через посредство морен, между которыми они залегают.

Стратиграфо-генетические комплексы, выделенные на территории Кирилло-Белозерского монастыря (2016г.)

№ п/п	Возраст	Стратиграфо-генетический комплекс	Характеристика	Мощность м	ИГЭ
1	Современный	Техногенных отложений tIV	Суглинистые и супесчаные грунты с большим количеством строительного мусора, щебнем известняка. Пески насыпные. Гать.	До 5,1 м	ИГЭ-1
2		Биогенных Отложений b IV	Торф, темно-коричневый, хорошо разложившийся.	0,3-1,3	ИГЭ -2
3		Озерно-болотных отложений lhI V	Илы серо-голубые, суглинистые, суглинки, супеси темно-коричневые заторфованные, с большим количеством органики.	0,4-2,2	ИГЭ - 3,4
4	Верхнечетвертичный и современный	Отложений проблематичного генезиса pr III-IV	Суглинок коричневый комковатый, твердый . Супесь светло-коричневая, пластичная.	0,3-2,2	ИГЭ – 16
5		Озерно-болотных отложений lh III-IV	Суглинки и глины с большим количеством органических остатков, с прослоями песка, супеси.		ИГЭ – 5,6
6	Верхнечетвертичный	Озерно-ледниковых отложений lg III	Суглинки, глины, слоистые, с тонкими прослоями песка, супеси, серые, голубовато-зеленые, пластичная, слоистая, с прослоями песка.	2,8 - 7,0	ИГЭ – 7,8, 13,13а
7		Флювиогляциальных отложений f III vd ₃	Пески гравелистые, крупные, средней крупности, слоистые.	2,0-7,0	ИГЭ – 9, 9а, 10
8		Ледниковых отложений валдайской морены g III vd ₃	Суглинки темно-коричневые и темно-серые моренные , плотные, с большим количеством гальки и гравия твердые и полутвердые.	до 9,3 м	ИГЭ -11,14
9	Средне четвертичный	Ледниковых отложений московской морены g II ms	Суглинки темно-коричневые и серые моренные, плотные, с большим количеством гальки и гравия осадочных пород	вскрытая до 1,5 м	ИГЭ-15

Таким образом, на территории Кирилло-Белозерского монастыря разрез отличается сложным строением, многообразие генетических типов отложений обуславливает их литологическую пестроту и фациальную изменчивость как по разрезу, так и по площади. Вследствие этого, представляемая здесь схема геологического строения является моделью, которая будет по мере накопления информации уточняться и совершенствоваться.

Современное звено (голоцен)

СГК современных техногенных образований (tIV).

Распространен повсеместно по всей территории. Техногенные грунты являются главным компонентом культурного слоя, формирующим ПАС. Образовались в результате строительной и хозяйственной деятельности. Залегают с поверхности, их мощность изменяется от 0,2 до 5,1 м, наименьшая мощность зафиксирована у Вологодской башни (скв.16), где она составляет 0,2 м, у северо-западного угла Трапезной (0,35м). Максимальная мощность зафиксирована у Косой башни (скв. 30) до 5,1 м.

На рис. 14 представлена «Карта изолиний мощности техногенных накоплений на территории Кирилло-Белозерского монастыря», которая позволяет оконтурить участки, на которых проводились работы по планировке территории (там мощность отложений наибольшая) – это прибрежная часть Успенского монастыря, участок у Косой башни Ивановская горка.

Техногенные образования представляют собой основную часть культурного слоя, в котором можно выделить слои разных веков. На территории Нового города, например, выделяются два горизонта, первый, связанный с засыпкой болот на территории и её освоением, (XVI в.) и второй, связанный со строительной деятельностью по возведению крепости Нового города (XVII в.). Об этом свидетельствует плащеобразное распространение техногенных грунтов и наличие слоя торфа под ними. При проходке шурфов в 2000 году было установлено [], что фундаменты крепостных стен XVII в., в месте примыкания стен к стенам Ивановского монастыря XVI в., заглублены в техногенный грунт, то есть, первоначальная планировка территории, поднятие уровня её дневной поверхности была произведена до середины XVII века.

На территории Ивановского монастыря здание Малых Больничных палат построено на специально террасированном участке склона Ивановского холма, сложенном, как хорошо видно на фото (Фото. 29), техногенными грунтами с большим количеством щебня кирпича.



Фото 29. Ивановский холм, малые больничные палаты

По литологическому составу и состоянию культурный слой очень разнороден. Представлен в основном сложно построенной слоистой толщей супесчаных и суглинистых грунтов разной степени уплотнённости со строительным мусором: известковой щебенкой, битым кирпичом, щепой, древесиной. В некоторых случаях встречено большое количество органики, заторфованных грунтов. Встречаются прослойки пожарищ. Так, в боковой стенке ш.44. (фото 30 Новый город) прослеживаются горизонты разного времени формирования, которые хорошо маркируются чёрным обугленным грунтом. На территории, примыкающей к стенам Успенского монастыря XVI в. около церкви Преображения, как установлено буровыми скважинами и археологическим раскопом, на глубине около 2,0 м в техногенных грунтах встречен бревенчатый настил, прослеживаемый на значительное расстояние.

В некоторых случаях (на участке примыкания стен Нового города и стен Ивановского монастыря, Малые Больничные палаты и др.) техногенные образования являются

основанием фундаментов сооружений, что является неблагоприятным фактором для устойчивости памятников.

СГК болотных отложений (b IV).

Представлен торфом тёмно-коричневым, почти чёрным, разной степени разложения, (ИГЭ-2). Распространен достаточно широко на территории. Залегает под техногенными грунтами. Встречен скважинами, шурфами и археологическими раскопами на территории Нового города, около Глухой башни Ивановского монастыря, у Больших Больничных палат, у юго-западного угла Трапезной палаты. Имеет линзообразное залегание. Абсолютные отметки подошвы образований изменяются от 117,05 до 118,2 м. Мощность варьирует от 0,3 до 1,3 м.

В верхней части разреза эти отложения замещаются постепенно техногенными грунтами. На территории Нового города зона развития торфа вдоль крепостных стен от Вологодской башни оконтурена зондировочными скважинами. На участке прясел крепостных стен от Косой до Казанской башен торф встречен практически всеми скважинами под толщей техногенных образований (скважины 6К, 1П-7П) [177,178], и скважинами зондировочного профиля по трассе траншеи.

СГК озерно-болотных отложений (lh IV).

Выделен в прибрежной части территории монастыря, примыкающей к устью Свияги, а также на территории Нового города, примыкающей к Косой башне. Представлен недоуплотненными голубовато-серыми и темно-серыми суглинистыми и супесчаными илами (ИГЭ-3) (скважины 2,3, 5И, 19, 21), а также сильно заторфованными суглинистыми формированиями (ИГЭ-4). Залегает под слоем техногенных и болотных отложений на глубинах от 0,9 до 2,0 м от поверхности. Мощность образований изменяется от 0,4 м до 5,8 м. Является основанием участков крепостных стен XVI в. и Нового города.

Верхнечетвертичное (верхний плейстоцен) и современное (голоцен) нерасчлененные звенья

СГК нерасчлененных озерно-болотных отложений (lh III-IV).

Главным образом представлен супесями (ИГЭ-5), суглинками (ИГЭ-6) голубовато-серыми, серо-бурыми, которые отличает тонкая слоистость, высокая пористость и значительное содержание органики. Имеет широкое распространение на территории. Подстилает болотные и техногенные отложения. Встречен скважинами 8,19,20,26,53,54,56-58,1И,4И,7И и шурфами на глубинах от 1,0 м до 2,4 м от поверхности, абсолютные отметки кровли отложений изменяются от 118,2 до 119,2 м. Мощность отложений изменяется от 0,5 до 5,0 м. В литологическом отношении характеризуется значительной изменчивостью.

СГК отложений проблематичного генезиса (pr III-IV).

Представлен темно-коричневыми и серовато-коричневыми комковатыми суглинками с редкими включениями гравия известковых пород с гнездами и прослойками песка (ИГЭ-16, 16а) (Фото 30). Образования этого комплекса выделяются на Успенском холме (шурфы 79, 81-83, скважины 5,6,31), в непосредственной близости от Вологодской башни и на территории, примыкающей к Ивановской горке (ш.5, ш. 47, скв.17, 55, арх.раскоп). Залегают сразу под техногенными отложениями на глубинах от 0,9 м (с.64) до 2,3 м (с.5) от поверхности. Абсолютные отметки кровли СГК на Успенском холме изменяются от 117,8 до 119,4 м, подошвы от 116,7 до 118,4 м. Мощность образований изменяется от 0,3 м до 2,2 м.

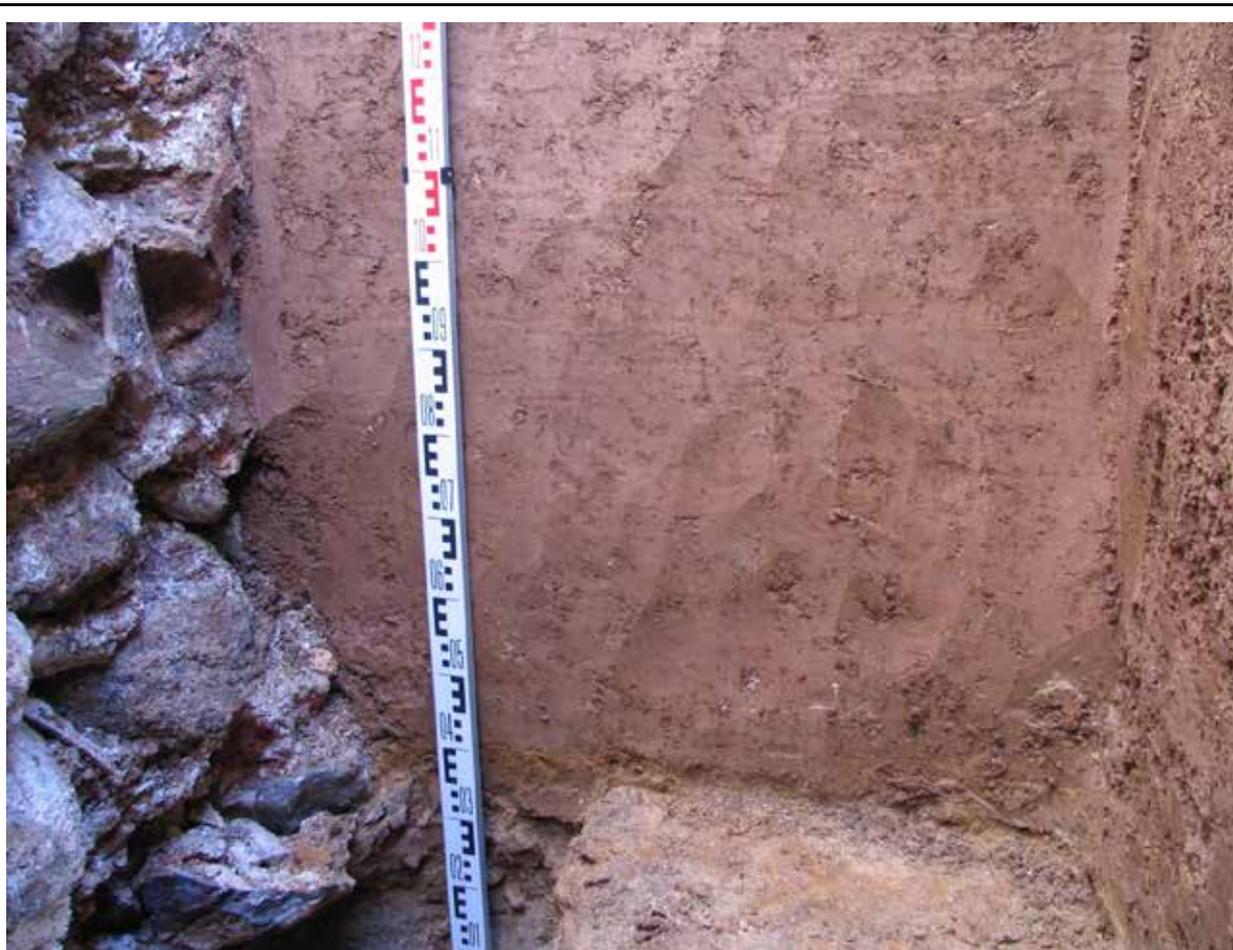


Фото 30. Отложение проблематичного генезиса в шурфе 79

Верхнечетвертичное звено (верхний плейстоцен). Валдайский надгоризонт.

СГК озёрно-ледниковых отложений (IgIII)

Представлен песками мелкими (ИГЭ-7) и пылеватыми (ИГЭ-13,13а) с прослоями супеси, супесью (ИГЭ-12), глиной (ИГЭ-8) с линзами суглинка, прослоями пылеватого песка (переслаивание), светло-коричневого, серо-коричневого цвета. Глубина залегания кровли изменяется от нескольких метров (участок у Вологодской башни скв.16,8И,9И,10И)

до 5,1 м (скв. 12И). Широко развиты в центральной и северо-восточной части территории, Мощность отложений изменяется от 2,8 до 16,4 м.

СГК флювиогляциальных отложений (f IIIv)

Представлен песками различной крупности от средних до крупных и гравелистых, влажными и водонасыщенными, с тонкими прослоями супеси и суглинка. Образования флювиогляциального генезиса распространены повсеместно на рассматриваемой территории. Находятся на глубинах от 1,5 м до 14,6 м от современной поверхности. Абсолютные отметки поверхности кровли изменяются от 114,6 до 124,0 м. Сразу под техногенными грунтами культурного слоя они встречены на Успенском и Ивановском холмах (участки около северного фасада Трапезной палаты, Архимандричьего корпуса, ц. Иоанна Лествичника, Казенной палаты, ц. Иоанна Предтечи), где служат основанием сооружений. В других случаях, они залегают значительно ниже, под комплексами озёрно-болотных и озерно-ледниковых образований над моренными суглинками на глубинах от 5,6 до 14,6 м, что хорошо видно на разрезах. Мощность формирований изменяется от 2,0 до 11,8 м. В районе Белозерской башни скважинами, пробуренными в 2015 г., на глубинах более 12,5 м от поверхности, встречены флювиогляциальные пески, залегающие под моренными суглинками (рис. 19). Абсолютные отметки кровли этого горизонта изменяются от 103,0 до 104,9 м.

На Успенском холме наблюдается наклонное залегание и слоистость флювиогляциальных песков. При проходке шурфов (ш. 63) около Трапезной палаты наблюдатели неоднократно отмечали наклонную слоистость песчаного материала по направлению к Сиверскому озеру [167,172] (Фото 31). Величина угла падения слоев составляет 35-40°, угол падения слоев больше к югу, к Сиверскому озеру, чем к западу. Отмечаются разные высотные отметки глубины залегания кровли флювиогляциальных отложений. Вдоль северного фасада Трапезной палаты отметки кровли флювиогляциальных песков изменяются от 120,6 м у северо-западного угла до 118,4-118,6 м около северо-восточного угла сооружения, то есть наблюдается обратный уклон по отношению к рельефу и по отношению к углу падения песчаных прослоев. Вероятнее всего это связано с условиями деградации ледника, и возможно тем, что вершина холма, унаследовавшая палеорельеф, находилась на месте современного архирейского корпуса.



Фото 31. Шурф 63, возле Трапезной палаты

СГК моренных отложений (g III vdз)

Согласно фондовым и литературным источникам [124,166] СГК моренных образований валдайского возраста распространен с поверхности на 90% площади Кирилловского района, что хорошо видно на карте четвертичных отложений (Рис. 9). Представлен моренными суглинками и глинами темно-коричневого и серого цвета с большим количеством гальки осадочных и метаморфических пород. Абсолютные отметки подошвы горизонта находятся в интервале от 91,0 до 105,0 м.

На территории монастыря моренные образования были встречены большинством скважин. Выделяют два горизонта моренных суглинков.

1-й моренный (верхний) горизонт представлен моренными суглинками коричневого цвета (ИГЭ -11). Распространен локально, встречен на Ивановской горке (скв.27) и у Вологодской башни (скв.41, ш.34). Мощность суглинков по скважине 27 составляет 3,3м, отметки кровли горизонта 120,9м, подошвы 117,6м. В кровле и подошве залегают пески флювиогляциального генезиса. На остальной части территории коричневые моренные суглинки не зафиксированы.

2-й моренный горизонт (нижний), вскрывается скважинами на большей части территории, представлен серыми моренными суглинками с большим количеством гальки и гравия осадочных и метаморфических пород.

Горизонт вскрывается на глубинах от 3,0 - 3,1 м (скв.3БИ, 76) до 21,2 м (скв.8ИВ), некоторыми скважинами (16,18,25) не вскрыт до глубины 15,0 м, а скважиной 1М, расположенной у Московской башни, до глубины 25,0м. (Рис.28) Абсолютные отметки кровли изменяются от 93,7 м (скв.2М) до 115,2 м (скв.3Б). Максимальная вскрытая мощность серого моренного суглинка составляет 11,3 м (скв.3Б). На прибрежном участке, прилегающем к Белозерской башне, скважинами 21, 1И, 2И моренные отложения вскрыты на полную мощность, которая изменяется от 3,3 до 7,6 м. Отметки положения кровли горизонта на этом участке изменяются от 110,9м, подошвы от 104,9м. Подстилают моренные суглинки глины серые (скв. 1И, 2И) и пески гравелистые (скв.21).

По колонкам буровых скважин 1987-1988-2015-2016г.г. составлена таблица глубин и абсолютных отметок положения кровли первого и второго горизонтов моренных суглинков и схема изолиний поверхности кровли второго горизонта (серого моренного суглинка) (Рис.28).

Зона относительно неглубокого залегания кровли моренных отложений (отметки кровли горизонта выше 110,0 м) находится в центральной части монастыря, повторяя форму Успенского холма. Здесь минимальная глубина залегания моренных суглинков составляет 3,0 м.

В районе скважины 1 (юго-восточная часть территории) моренные формирования также имеют неглубокое залегание (5,0 м). Судя по форме изолиний, морена формирует в данном районе холм, вершина которого не совпадает с современным рельефом.

Анализ формы изолиний позволяет говорить о несовпадении рельефа кровли моренного горизонта и современной дневной поверхности в северо-восточной части территории, где глубина залегания кровли моренных отложений резко возрастает и достигает более 15,0 м (отметки 105,0м и ниже). Также увеличение глубины залегания кровли моренных суглинков наблюдается в восточной части территории, где в районе Вологодской башни глубина залегания кровли достигает 23,0 м (абс. отм.101,0 м).

Среднечетвертичное звено (средний плейстоцен).

Московский горизонт

СГК моренных отложений. (g II ms)

В районе г.Кириллова кровля московской морены находится на глубинах, превышающих 20,0 м (абс. отм. 90-100,0 м), что хорошо видно на разрезе к карте четвертичных отложений (Рис. 9). На территории монастыря на участке, прилегающем к Вологодской башне, суглинки коричневые, твердые, с включениями до 30 % гравия, гальки карбонатных пород, щебня магматических пород (ИГЭ-15) [174,175] вскрыты скважинами 8ИВ, 9ИВ на глубине 23,9 и 22,7 м от поверхности (абс. отм. кровли 98,3 и 99,15 м).

Вскрытая мощность суглинков составила 1,1 и 2,4 м. Около Московской башни скважинами 1М, 2М, пробуренными в 2016 г., тёмно-серые моренные суглинки вскрыты на глубинах 25,10 и 25,30 м от дневной поверхности, абсолютные отметки кровли 93,71м и 93,70 м. По гипсометрическому положению кровли эти суглинки могут быть отнесены к московскому горизонту.

Гидрогеологические условия

Расположение монастырского комплекса на берегу Сиверского озера, присутствие на территории поверхностного водоёма – речки Свяги, расчлененность рельефа, а также сложное геологическое строение, предопределили непростые гидрогеологические условия территории. В результате исследований [167,168] на территории монастыря до глубины 20,0 м были выделены следующие водоносные горизонты:

- техногенный водоносный горизонт в валунных фундаментах исторических сооружений (комплекс Успенского собора, крепостные сооружения Нового города);
- спорадически распространенный горизонт подземных вод типа «верховодки» в грунтах культурного слоя и обратной засыпки;
- водоносный горизонт озёрно-болотных отложений;
- первый от поверхности водоносный горизонт флювиогляциальных и озерно-ледниковых формирований;
- напорный горизонт флювиогляциальных отложений.

Техногенный водоносный горизонт в валунных фундаментах сооружений

встречен при проходке шурфов в фундаментах Успенского собора и крепостной стены Нового города. При проходке шурфов №19, 26 (1987,1988 год), фундаментные воды были зафиксированы при зачистке фундаментной стенки, вода из фундамента заполнила выкопанный шурф глубиной 1,2 м в считанные минуты [].

Во время проходки шурфов для изучения фундаментов комплекса Успенского собора осенью 2005 года водопроявления разной интенсивности были зафиксированы в шести шурфах из девяти. Наиболее интенсивный водоприток из фундаментов наблюдался в шурфах 75 и 76, вскрывших фундаменты Северной паперти, церковью Владимира и Епифания [181].

Глубина залегания уровня воды от поверхности изменяется от 0,3-0,4м до 1,0-1,5 м в зависимости от климатических условий года. Водовмещающим материалом «фундаментных вод» является валунная кладка фундаментов памятников. Водупором служат глинистые грунты культурного слоя, покровные суглинки, глинистые грунты озерно-ледниковых отложений, примыкающие с внешней стороны к фундаментам.

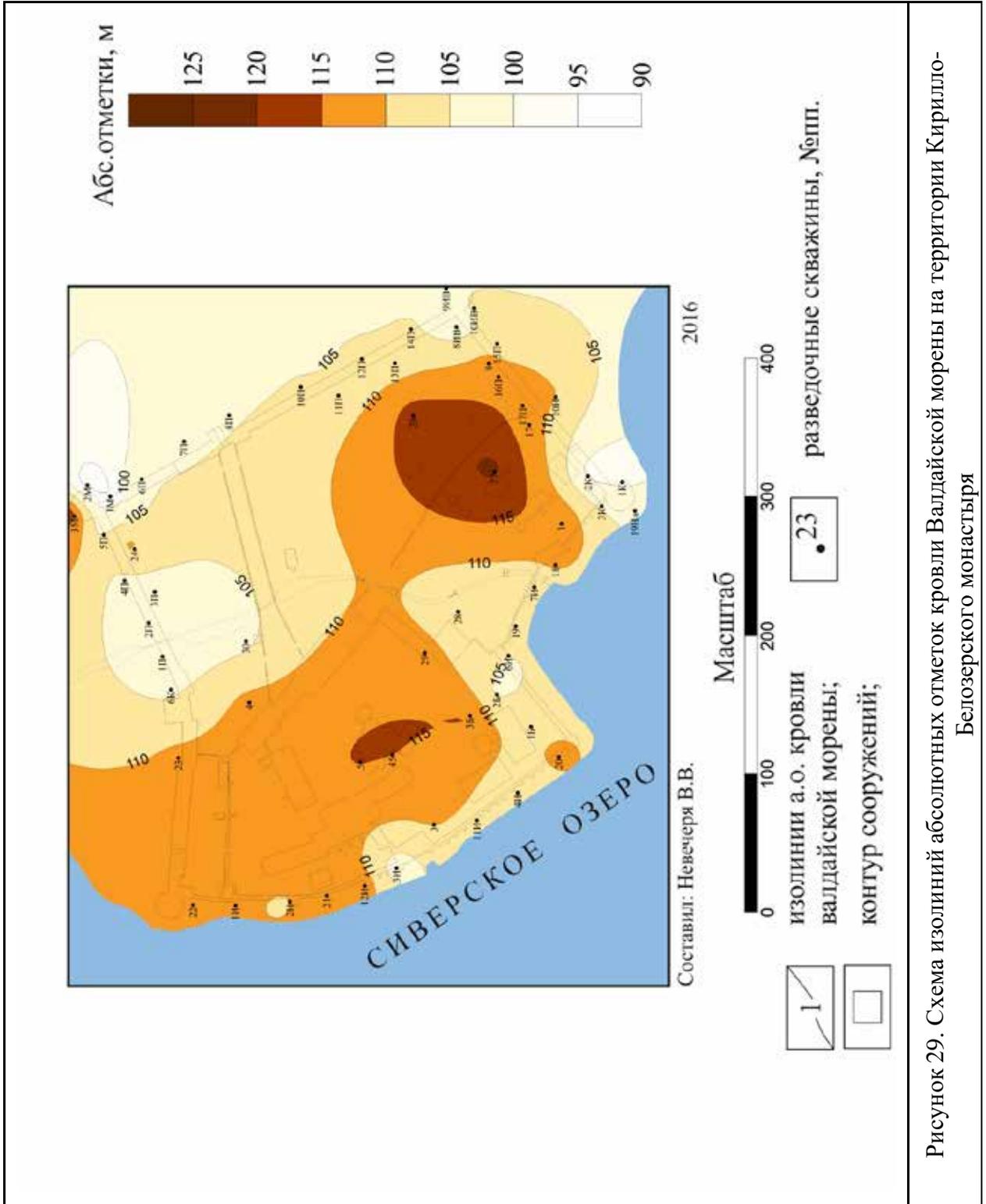


Рисунок 29. Схема изолиний абсолютных отметок кровли Валдайской морены на территории Кирилло-Белозерского монастыря

Условиями формирования горизонта являются [87]:

- наличие дискретной среды в фундаментах (валунная кладка);
- слабопроницаемые грунты в основании и у боковой поверхности фундаментов;
- отсутствие возможности эвакуации атмосферных вод от фундаментов (нарушение планировки, обратные уклоны поверхности, отсутствие отмостки ит.п.).

На карте инженерно-геологических условий показаны зафиксированные участки развития фундаментных вод и участки, где возможно их формирование. Под всем комплексом Успенского собора, за исключением ц. Кирилла, возможно формирование фундаментных вод.

Спорадически распространенный горизонт подземных вод типа «верховодки» в грунтах культурного слоя и обратной засыпки Горизонт имеет локальное распространение, формируется в зависимости от климатических условий года. В сухие периоды года он исчезает. Глубина залегания горизонта от поверхности изменяется от 0,3-0,4 м до 1,0-1,5 м. Водовмещающими породами являются суглинки, супеси, пылеватые пески с большим количеством строительного мусора, органики. Водоупором служат покровные суглинки, глинистые грунты озерно-болотных отложений.

На территории Нового города воды этого горизонта были вскрыты в 1987 году при проходке шурфов (ш.6,5, прясло Казанская-Вологодская) на глубинах 1,4-1,6 м от поверхности земли [168]. В 2000 году при проходке шурфов в большинстве выработок до глубины 2 м грунтовые воды встречены не были, что несомненно объясняется климатическими условиями (отсутствием обильных осадков весной и летом) и улучшением условий поверхностного стока, которые были достигнуты при планировочных работах на территории и реконструкцией рвов в 1994 году.

В 1995-2007г.г. проводились наблюдения за изменением положения уровня техногенного горизонта около Успенского собора по скважинам № 42,43,44. Режим горизонта определяется атмосферными осадками.

Водоносный горизонт болотных и озерно-болотных отложений имеет локальное распространение. Прослеживается в центральной части территории Нового города, около Казанской башни, а также в прибрежной части территории около Свиточной башни. Водовмещающими породами являются болотные отложения – торфы, заторфованные супеси, пылеватые пески. Водоупором служат глинистая толща озёрно-ледниковых отложений. Мощность горизонта изменчива не превышает 1,5–2,0 м. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0,5 до 2,0 м от поверхности, питание горизонта в основном инфильтрационное.

При изучении инженерно-геологических условий рвов, окружающих монастырь, было установлено, что заболоченный ров у Казанской башни является областью питания горизонта болотных отложений центра Нового города. В настоящее время ров углублен и является областью разгрузки для этого горизонта.

Постоянный, первый от поверхности водоносный горизонт вскрыт на территории Успенского и Ивановского холмов. Водовмещающими породами горизонта являются надморенные флювиогляциальные пески разной крупности (от мелких до гравелистых) и озёрно-ледниковые супеси и суглинки с прослоями водонасыщенных песков. Водоупором служат моренные суглинки валдайского возраста, либо озёрно-ледниковые глины. Мощность горизонта непостоянна, изменяется от 2,0 до 7,0 м. Глубина залегания варьирует от 0,8 м на прибрежной территории монастыря, 3,0-3,5 м в районе Вологодской башни и 7,0-8,5 м на Ивановском холме. Абсолютные отметки положения уровня изменяются от 115,91 до 118,85 м. В таблице 13 приведено положение уровня грунтовых вод, зафиксированное при бурении скважин в феврале 2015 г.

Таблица 13

Положение уровня грунтовых вод по скважинам, пробуренным в 2015 г.*

Скважины, номер	Появление воды		Установившийся уровень		Дата замера	Напор, м
	Глубина, м	Абс. отм, м	Глубина, м	Абс. отм, м		
Скв. 1И	1,6	115,71	1,4	115,91	13.02.15	0,2
Скв. 2И	1,3	116,38	1,3	116,38	15.02.15	0,0
Скв. 3И	0,8	116,48	0,9	116,38	17.02.15	0,0
Скв. 4И	1,6	115,83	1,25	116,18	17.02.15	0,35
Скв. 5И	1,0	116,48	1,25	116,23	18.02.15	0,35
Скв. 6И	1,0	116,49	0,95	116,54	24.02.15	0,05
Скв. 7И	0,93	116,43	0,87	116,49	26.02.15	0,06
Скв. 8И	0,85	116,63	0,7	116,78	22.02.15	0,15
Скв. 9И	1,3	117,15	1,3	117,15	24.02.15	0,0
Скв. 10И	0,8	117,31	0,8	117,31	28.02.15	0,0
Скв. 8ИВ	4,0	118,20	3,3	118,90	27.06.15	0,7
Скв. 9ИВ	3,9	117,95	3,0	118,85	28.06.15	0,9
Скв. 10ИВ	4,5	117,83	3,5	118,83	28.06.15	1,0

*По информации ООО ИГИТ [174-178]

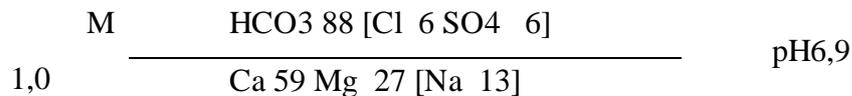
Питание горизонта инфильтрационное и за счет паводковых вод. Уровенный режим первого водоносного горизонта определяется гидрологическим режимом Сиверского озера, с которым он имеет прямую гидравлическую связь, что доказано корреляционным анализом [181].

Территория монастыря, примыкающая к Сиверскому озеру, находится в подтопленном состоянии – уровень грунтовых вод в некоторые периоды годы находится на глубине 0,4-0,5 м от современной дневной поверхности, что зафиксировано замерами по

гидрорежимной скважине 3. Это отражено на карте инженерно-геологических условий цифровыми интервалами глубин залегания уровня грунтовых вод от поверхности. На карте (Рис.18) отмечены грунтовые воды, залегающие на глубине 0-2 м, что характеризует подтопленность территории, 2-5 м и 5-10 м.

По результатам экспресс-наливов, проведенных в 2015 г. в скважинах 8ИВ,9ИВ,10, ИВ коэффициент фильтрации для водовмещающих пород озерно-ледникового генезиса в среднем составляет 1,3 м/сут. [175]. По данным гидрогеологических исследований, проведенных сотрудниками МГРИ-РГГРУ в 1989 году на территории монастыря [168], коэффициент фильтрации для водоносного горизонта, заключенного в озерно-ледниковых отложениях, составил 0,1-0,9 м/сут. По результатам лабораторных определений, проведенных Вологодским ТИСИЗом в 1988 году [164], коэффициент фильтрации флювиогляциальных песков изменяется от 4 до 20 м/сут.

По химическому составу воды первого от поверхности водоносного горизонта гидрокарбонатные магниево-кальциевые, весьма слабосоленоватые, очень жёсткие, жёсткость карбонатная. Средний химический состав вод первого от поверхности водоносного горизонта, по скважинам 2015 г. представлен формулой Курлова:



Напорный горизонт флювиогляциальных формирований

Второй от поверхности водоносный горизонт вскрыт скважинами на глубинах больше 12,5 м. Водовмещающими породами служат флювиогляциальные отложения валдайского возраста, представленные песками средними, крупными, гравелистыми. Горизонт напорный, вскрыт на глубинах от 12,5 до 14,6 м (абс. отм. 104,13 – 107,60 м). Величина напора составляет 8,7 – 10,0 м. (Таблица 14) Глубина положения установившегося уровня горизонта от поверхности земли составляет 4,1 – 5,2 м (113,38 – 117,75 м). Положение напорного уровня по абсолютным отметкам выше у скважин, расположенным у Вологодской башни.

Таблица 14

Положение уровня напорных вод*

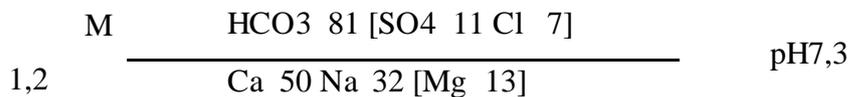
Скважины , №	Дата замера	Абс. отм. устья. скв.	Появившийся уровень		Установившийся уровень		Напор, м
			Глубина, м	Абс. отм, м	Глубина, м	Абс. отм, м	
Скв.1И	13.02.15	117,31	14,0	103,31	4,0	113,31	10,0
Скв.2И	15.02.15	117,68	13,5	104,18	4,3	113,38	9,2
Скв.8ИВ	27.06.15	122,20	14,6	107,60	5,0	117,20	9,6
Скв.9ИВ	28.06.15	121,85	14,1	107,75	4,1	117,75	10,0

Скважины, №	Дата замера	Абс. отм. устья. скв.	Появившийся уровень		Установившийся уровень		Напор, м
			Глубина, м	Абс. отм, м	Глубина, м	Абс. отм, м	
Скв.10ИВ	28.06.15	122,33	13,9	108,43	5,2	117,13	8,7

*По информации ООО ИГИТ []

Верхним водоупором горизонта на участке у Белозерской башни являются моренные суглинки, валдайского горизонта, нижний водоупор скважинами до глубины 20,0 м не вскрыт. На участке около Вологодской башни верхним водоупором являются глины озерно-ледникового генезиса, мощностью до 6,2 м, нижним - моренные суглинки.

Воды горизонта по химическому составу гидрокарбонатные кальциево-натриевые, весьма слабосолоноватые, очень жёсткие, жёсткость карбонатная. Средний химический состав подземных вод напорного водоносного горизонта, рассчитанный по анализам воды из скважин, пробуренных в 2015 г., представлен в формуле Курлова:



На значительной части территории Кирилло-Белозерского монастыря гидрогеологические условия изучены фрагментарно. В связи со значительной неоднородностью геологического строения в латеральной плоскости и в разрезе, первый от поверхности водоносный горизонт, содержится в разных по генезису и литологическому составу грунтах – песках различной крупности от пылеватых до гравелистых, с прослоями супесей и суглинков. Это обстоятельство усложняет построение гидрогеологической модели территории.

Гидрогеологические условия территории во многом определяют влажностной режим грунтов основания, интенсивность развития криогенных процессов. Фундаменты стен памятников в одних случаях подтоплены, в других находятся в зоне аэрации, это оказывает влияние на сохранность деревянных свай и устойчивость сооружений. Совершенно не изучен вопрос влияния реки Свияги на гидрогеологический режим территории.

Инженерно-геологические элементы и физико-механические свойства грунтов.

По результатам обработки фондовых материалов 1987-2017 гг. [167-169,174-178], полевому визуальному описанию и анализу лабораторных данных в сфере взаимодействия локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря выделен 21 инженерно-геологический элемент (ИГЭ) на глубину до 30 м. Описание инженерно-геологических элементов приводится ниже. Краткое описание ИГЭ, а также принадлежность их к стратиграфо-генетическим комплексам, распространенность по площади, приуроченность к сферам взаимодействия конкретных элементарных ИПТС приведены в таблице 15.

**Инженерно-геологические элементы, выделенные в
сфере взаимодействия локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря**

№ п/п	№ ИГЭ	СГК	Описание	Распространение, места выделения
1	1	t IV	Суглинистые и супесчаные грунты с большим количеством строительного мусора, щебнем известняка. Пески насыпные.	Повсеместно
2	2	hIV, lhIV	Торф темно-коричневый, среднеразложившийся.	Прибрежная зона
3	3	lhIV	Ил глинистый темно-серый, текучепластичный, с примесью органических веществ и торфа.	Прибрежная зона
4	4	lhIV	Суглинок серый, легкий, текучий, с примесью органических веществ.	Прибрежная зона
5	5	lhIV-III	Суглинок серый, мягкопластичный, с примесью органических веществ.	Прибрежная зона Белозерская башня
6	6	lhIII- IV	Глина светло-серая, легкая, тугопластичная, с примесью органических веществ .	Прибрежная зона, Косая башня
7	6a	lgIII	Суглинок зеленовато-серый, текучепластичный.	Косая башня, Вологодская башня
8	7	lgIII	Песок мелкий серый, средней плотности, насыщенный водой, с прослоями супеси, с прослоями песка средней крупности, неоднородный.	Прибрежная зона, ц. Иоанна Лествичника
9	8	lgIII	Глина серая, тугопластичная, с линзами суглинка, с редкими прослоями песка .	Прибрежная зона, Вологодская башня
10	9	fIII	Песок средней крупности серый, средней плотности, насыщенный водой.	Прибрежная зона, Косая башня
11	9a	fIII	Песок средней крупности серый, рыхлый, насыщенный водой.	Косая башня
12	10	fIII	Песок гравелистый, серый, средней плотности, насыщенный водой.	Прибрежная зона, Белозерская, Вологодская башни
13	10a	fIII	Песок гравелистый, серый, рыхлый, насыщенный водой.	Белозерская, Вологодская башни, ц. Иоанна Лествичника
14	10б	fIII	Песок гравелистый серый, плотный, насыщенный водой.	Прибрежная зона, Вологодская башня
15	11	gIIIvd ₃	Суглинок темно-серый, тугопластичный, с включениями до 20% гравия, гальки и валунов магматических пород.	Прибрежная зона, Белозерская башня

№ п/п	№ ИГЭ	СГК	Описание	Распространение, места выделения
16	12	fIII	Супесь серая пластичная	Белозерская, Вологодская башни
17	13	lgIII	Песок пылеватый, серовато-желтый, средней плотности, средней степени водонасыщения и насыщенный водой, с прослоями супеси, с редкими вкл. гравия магматических пород	Вологодская башня
18	13a	lgIII	Песок пылеватый, серовато-желтый, рыхлый, насыщенный водой, с прослоями супеси, с редкими вкл. гравия магматических пород.	Вологодская башня
19	14	gIIIvd ₃	Суглинок серый, полутвердый, с вкл. до 20% гравия, гальки, валунов магматических пород.	Вологодская башня
20	15	gIIms	Суглинок коричневый, твердый, с вкл. до 30% гравия, гальки карбонатных пород, щебня магматических пород.	Вологодская башня
21	16	rg III-IV	Суглинок коричневый, комковатый, покровный, тугопластичный.	Успенский холм, Вологодская башня

- **ИГЭ-1**– *техногенные накопления*, представлены грунтами культурного слоя. Литологический состав очень неоднороден и определяется составом подстилающих отложений и характером техногенеза. В литологическом отношении это суглинки с большим количеством кирпичного боя, жжённой извести, зерен известняка, древесины, чередующиеся с прослоями разнозернистых песков. Супесь, с включениями щебня до 20% и другого строительного мусора до 5%. Пески разнозернистые. Характерной особенностью является наличие в толще техногенных грунтов большого количества древесных фрагментов, органики. Древесные фрагменты часто представляют собой брёвна, диаметром 10-20 см, хорошо сохранившиеся.

Рекомендуемое значение расчетного сопротивления для грунтов ИГЭ – 1 согласно табл. №В.9 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [9]: $R_0 = 0,1$ МПа. Значения прочностных и деформационных свойств техногенных насыпных грунтов ИГЭ – 1 не нормируются.

- **ИГЭ-2** Торф темно-коричневый, среднеразложившийся (влажный и водонасыщенный).

- **ИГЭ-3** Ил глинистый темно-серый, текучепластичный, с примесью органических веществ и торфа.

- **ИГЭ-4** Суглинок серый, легкий, текучий с примесью органики. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-4 равны соответственно $\rho = 2,02 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,01 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 2,00 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-5** Суглинок серый, мягкопластичный, с примесью органики. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-5 равны соответственно $\rho = 2,02 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,01 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 2,00 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-6** Глина светло-серая, легкая, тугопластичная, с примесью органических веществ. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-6 равны соответственно $\rho = 1,96 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,95 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,94 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-6а** Суглинок зеленовато-серый, текучепластичный. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-6а равны соответственно $\rho = 1,95 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,94 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,93 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-7** Песок, серый, мелкий, средней плотности, средней степени водонасыщения. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-7 равны соответственно $\rho = 1,91 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,96 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,86 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-8** Глина серая, тугопластичная, с линзами суглинка, с редкими прослоями песка.
- **ИГЭ-9** Песок средней крупности серый, средней плотности, насыщенный водой. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-9 равны соответственно $\rho = 1,96 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,94 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,93 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-9а** Песок средней крупности серый, рыхлый, насыщенный водой. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-9а равны соответственно $\rho = 1,71 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,69 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,70 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-10** Песок гравелистый серый, средней плотности, насыщенный водой. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-10 равны соответственно $\rho = 1,96 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,95 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,94 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-10а** Песок гравелистый серый, рыхлый, насыщенный водой. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-10а равны соответственно $\rho = 1,81 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,80 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,79 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-10б** Песок гравелистый серый, плотный, насыщенный водой (fQIII); Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-10б равны соответственно $\rho = 1,81 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,80 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,79 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-11** суглинок темно-серый, тугопластичный, с включением до 20% гравия, гальки и валунов магматических пород. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-11 равны соответственно $\rho = 1,97 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 1,96 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,95 \text{ г/см}^3$.

- **ИГЭ-12** Супесь серая пластичная. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-12 равны соответственно $\rho = 2,06 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,04 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 2,03 \text{ г/см}^3$.
- **ИГЭ-13**. Песок пылеватый серовато-желтый, средней плотности, средней степени водонасыщения и насыщенный водой, с прослоями супеси, с редкими включениями гравия магматических пород.
 - **ИГЭ-13а**. Песок пылеватый серовато-желтый, рыхлый, средней степени водонасыщения и насыщенный водой, с прослоями супеси, с включениями до 20 % гравия магматических пород.
 - **ИГЭ-14**. Суглинок серый, полутвердый, с вкл. до 20% гравия, гальки, валунов магматических пород. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-14 равны соответственно $\rho = 2,13 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,12 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 2,11 \text{ г/см}^3$.
 - **ИГЭ-15**. Суглинок коричневый, твердый, с вкл. до 30% гравия, гальки карбонатных пород, щебня магматических пород. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-15 равны соответственно $\rho = 2,17 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,16 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 2,15 \text{ г/см}^3$.
 - **ИГЭ-16**. Суглинок коричневый, тугопластичный, комковатый. Нормативные и расчетные значения плотности грунтов ИГЭ-16 равны соответственно $\rho = 2,01 \text{ г/см}^3$, $\rho_{II} = 2,00 \text{ г/см}^3$, $\rho_I = 1,99 \text{ г/см}^3$.

Нормативные значения физико-механических свойств грунтов, выделенных ИГЭ, рассчитанные по сводным данным МГРИ-РГГРУ-ИГИТ, приведены в таблице 16.

Экзогенные и инженерно-геологические процессы

На территории Кирилло-Белозерского музея-заповедника получили развитие следующие экзогенные и инженерно-геологические процессы: эрозия поверхности склонов, абразия берега Сиверского озера, заболачивание территории, подтопление, процесс криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания. Главные проявления этих процессов охарактеризованы ниже.

Проявления процесса струйчатой (линейной) эрозии дневной поверхности наблюдаются в виде небольших промоин, борозд, вытянутой формы на поверхности Ивановского холма на участках примыкающим к дорожкам, проложенных по склону (Фото. 31). Глубина вреза борозд невелика – 10-15 см, протяженность до 1-2 м.



Фото 31. Эрозионный размыв поверхности около Казанской башни (август 2008 г.)

Разрушение берега в результате абразии наблюдается у подножья Белозерской башни. Берег перед стенами монастыря укреплялся неоднократно в XVII и в XIX в.в. (Фото. 32). До настоящего времени сохранилась валунная набережная, XIX в, сооруженная после включения Сиверского озера в верхний бьеф гидротехнической системы имени герцога Виртембергского и остатки более ранних укреплений в виде частокола деревянных свай. Сохранность валунной набережной не одинакова на разных участках берега, у Белозерской башни валунная набережная разрушена практически полностью. В настоящее время здесь наблюдается обрушение берега и отступление береговой бровки.

Процесс заболачивания зафиксирован в центральной части территории Нового города, с внешней стороны крепостных стен у Казанской башни, вдоль прясла крепостной стены между Московской и Косой башнями.

На территории Нового города отмечаются две стадии развития процесса заболачивания. *Первоначальное заболачивание* связано с природными условиями территории до начала её освоения, что подтверждает развитие слоя торфа под техногенными отложениями культурного слоя. В 2002-2002 гг. вдоль прясел крепостных стен между Казанской и Вологодской, а также Вологодской и Кузнечной башен проведено оконтуривание развития погребенного торфа зондировочными скважинами [171].

Нормативные значения физико-механических показателей свойств грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	Показатели физических свойств						Показатели механических свойств		
		ρ_s , г/см ³	W, %	ρ , г/см ³	e, д.е.	I_p , %	I_L , д.е.	E МПа*	φ °	C, кПа
2	Торф	1,70	345,76	1,08	6,02			2,0	12,0	25,0
3	Ил глинистый, текучепластичный	2,68	74,08	1,58	1,99	>1,0	1,19			
4	Суглинок, легкий, текучий	2,72	32,6	1,73	1,10	8,5	1,38	3,5	16,00	14,00
5	Суглинок, мягкопластичный	2,72	17,36	1,98	0,61	8,98	0,56	6,1	18,25	16,25
6	Глина, легкая, тугопластичная	2,76	24,64	1,96	0,77	19,78	0,43	12,0	17,71	33,56
6а	Суглинок, текучепластичный	2,72	29,15	1,93	0,82	9,88	0,9			
7	Песок мелкий, ср. плотн., водонас.	2,66		1,82**	0,71			21,1**	31,35	1,0
8	Глина тугопластичная	2,75	24,52	2,00	0,71	18,54	0,42	12,4	17,78	33,88
9	Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный	2,66		1,99**	0,64			25,4**	32,14	0
9а	Песок средней крупности, рыхлый.	2,66		1,76**	0,85			14,0**	24	0
10	Песок гравелистый, ср. плотности водонасыщенный	2,66		2,06**	0,59			30,3**	34,07	0
10а	Песок гравелистый, рыхлый водонасыщенный	2,66						39,4**	36,24	0
10б	Песок гравелистый, плотный водонасыщенный	2,66		2,09**				29,0**	34,0	0
11	Суглинок, тугопластичный	2,72	22,17	2,03	0,63	9,67	0,39	13,5	19,0	38,0
12	Супесь пластичная	2,69	18,0	2,02	0,57	4,77	0,46	19,0	19,0	26,0
13	Песок пылеватый ср. плотности водонасыщенный	2,66		1,87**	0,74			12,0**	30,0	1,0
13а	Песок пылеватый рыхлый водонас.	2,66		1,67**				6,0**	22,0	1,0
14	Суглинок, полутвердый	2,72	17,52	2,13	0,50	10,76	0,20	19,0	18,0	28,0
15	Суглинок, твердый	2,72	16,12	2,17	0,45	10,06	-0,19	22,0	17,0	54,0
16	Суглинок, полутвердый	2,77	24,7	2,01	0,73	13,0	0,11	12,5**	18,0	33,0**

*- модуль деформации по результатам испытания грунта методом компрессионного сжатия рассчитан в интервале нагрузок 0,1-0,2 МПа;

** - значения были приняты по данным, полученным в результате обработки испытаний грунтов методом статического зондирования.



Фото 32. Процесс разрушения берега в районе Белозерской башни (1999 г)

Современное заболачивание на территории Нового города проявляется в повышенной увлажненности территории, широком распространении влаголюбивой растительности. Наиболее ярко современное заболачивание фиксируется с внешней стороны прясла стены между Казанской и Московской башнями, здесь, между асфальтовой дорогой и стеной сформировалось настоящее болото с характерной болотной растительностью, с мощностью торфа до 1,0 м. [169]. Современный процесс заболачивания связан с нарушениями водного режима территории из-за строительства крепостных сооружений, дорог.

Процесс подтопления территории монастыря, примыкающей к Сиверскому озеру, произошел в результате повышения уровня озера в XIX в. после его вхождения в верхний бьеф гидротехнической системы имени герцога Виртембергского. В настоящее время уровень грунтовых вод на территории, прилегающей к озеру, в паводковые сезоны находится на глубине 0,3-0,5 м, от поверхности, а в отдельные годы происходит даже затопление некоторых участков (Фото 33). К подтопленной территории относятся все прибрежные участки Успенского и Ивановского монастырей, на которых находятся памятники XVI-XVII в. – крепостные стены, комплекс Больничных палат, ц. Преображения, а также территория вдоль крепостных стен между Белозерской и Московской башнями.



Фото 33. Подтопление фундаментов ц.Преображения (раскоп в августе 2008 г.)

Процесс криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания развит очень широко на территории и является одним из главных процессов, влияющих на устойчивость памятников. Характеристике этого процесса изучению его влияния на отдельные памятники посвящены многие работы [79,116]. Визуально наиболее значительные проявления этого процесса фиксируются:

- по внешней стороне прясел крепостных стен Нового города, где отмечен отрыв крепостных стен от фундаментов с образованием глубоких (до 40-50 см вглубь) ниш с отходом валунов в сторону от стен (Фото 34);
- во внутренних коморах стены, примыкающей к Кузнечной башне, где наблюдается выпучивание валунов фундаментов с разрушением нижнего обреза стены;
- по внешней стороне крепостных стен XVI в., где отмечается отход контрфорсов от стен (Фото 35);
- повсеместно в виде деформаций и разрушения бетонных отмосток вокруг памятников.

	
<p>Фото 34. Выпучивание валунов в коморе крепостной стены Нового города (фото 2003 г.)</p>	<p>Фото 35. Выпучивание валунов из-под стены на участке прясла крепостной стены Нового города от Казанской до Вологодской башни. Фото 2000 г.</p>

Другое проявление процесса криогенного пучения зафиксировано инструментальными наблюдениями за вертикальным положением марок, установленных на стенах комплекса Успенского собора, ц. Введения с Трапезной палатой. Установлено, что криогенное пучение грунтов приводит к сезонному, знакопеременному перемещению (пульсации) стен. В начале зимы происходит промерзание грунтов обратной засыпки фундаментов с внешней и внутренней сторон стен памятников. Пучащийся (поднимающийся) при промерзании грунт обуславливает подъем (выпучивание) стен за счет касательных или нормальных сил пучения. В период с 1989 до 2003 гг., как установлено инструментальными наблюдениями, максимальная величина вертикального перемещения в зимние сезоны составила 24 мм, минимальная 1-2 мм. При оттаивании грунта большая часть стен возвращается в исходное положение, но наблюдается и остаточное выпучивание стен на некоторых участках. Главной причиной развития процесса является переувлажнение глинистых грунтов слоя сезонного промерзания, вследствие «неправильной организации рельефа» вокруг памятников [79,116].

Таким образом, на территории Кирилло-Белозерского монастыря наблюдаются многочисленные проявления экзогенных геологических процессов. Изучение условий развития и механизма процессов должно быть продолжено с целью оконтуривания зон развития процесса и оценки степени влияния процессов на устойчивость памятников.

Выводы к третьей главе

Характеристика локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря необходимая для применения «Концепции раннего предупреждения...», основана на анализе и обобщении литературных и фондовых материалов 1953 -2016 г. г.

Особенности инженерно-геологических условий Кирилловского района – территории, прилегающей к монастырю, обусловлены нахождением здесь краевого образования валдайского оледенения в максимальную фазу его развития, и строительством в XIX в. Северо-Двинского водного пути.

Анализ истории формирования и развития Кирилло-Белозерского монастыря позволил выделить 4 этапа функционирования локальной ИПТС. В настоящее время локальная ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря находится на этапе музеефикации и сохранения.

Предложенная автором структурная схема локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря содержит четыре структурных подразделения: 53 элементарные ИПТС памятников архитектуры – главные структурообразующие элементы системы, ПАС культурного слоя и некрополей, ПТрС речки Свяги и Ивановского холма, ПТС инженерных сетей (водонесущих, тепловых и кабельных коммуникаций) и защитных сооружений.

Элементарные ИПТС являются главным системообразующим охраняемым компонентом в составе локальной ИПТС. Приводится общая характеристика искусственных подсистем элементарных ИПТС, сгруппированных по месторасположению, первоначальному назначению и этапам функционирования локальной ИПТС. Охарактеризованы главные конструктивные особенности и типовые деформации исторических сооружений – искусственных подсистем.

Природно-археологическая система (ПАС) локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря состоит из подсистем собственно культурного слоя и захоронений (некрополи). Культурный слой сформирован из толщи техногенных грунтов, различного литологического состава, содержащих артефакты, а также, фрагментов фундаментов несохранившихся зданий, деревянных конструкции. Предлагается авторская схема разновидностей культурного слоя на территории, состоящая из 8 подразделений, дается их характеристика. Построена схема изолиний мощности техногенных грунтов на территории монастыря.

Выделение в структуре локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря природно-трансформированных систем связано с наличием на территории измененных ландшафтных объектов - речки Свяги и холмов, Успенского и Ивановского. Анализ построенного профиля дна русла позволил заключить, что в настоящее время речка Свяга представляет собой практически не проточный водоем с несколькими трубными перемычками и сформированными искусственными водоемами.

Подсистемы «сооружения» современных элементарных ПТС представлены разного вида инженерными и дренажными сооружениями вокруг Успенского собора. Построена карта-схема размещения инженерных сетей из которой видно, что подавляющее большинство коммуникационных объектов приурочено к территории Успенского монастыря, где сосредоточены центральные объекты музейного показа и административные службы.

Характеристика подсистемы «Сфера взаимодействия объектов локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой» начинается с рассмотрения изученности геологической среды как подсистемы локальной ИПТС. Выполнен анализ изученности подсистемы «СВ» локальной ИПТС с характеристикой этапов изучения, видов и объемов работ. Установлено, что не смотря на большой объем проведенных работ (только в 1987-2007 г.г. пройдено 85 скважин и 83 шурфа), получена недостаточно детальная горно-геологическая информация о строении СВ и подземной части памятников. Автором построена актуализированная схематическая карта фактического материала проведенных инженерно-геологических работ на территории монастыря.

Подводя итоги обсуждения инженерно-геологических условий территории Кирилло-Белозерского монастыря можно сделать следующее заключение:

На территории монастыря выделяются в рельефе две положительные структуры - Успенский и Ивановский холмы, разделенные речкой Свягой, представляющие собой, предположительно камы, сложенные флювиогляциальными, покровными и озерно-ледниковыми образованиями.

В геологическом строении территории на глубину 15-20м участвуют образования девяти стратиграфо-генетических комплексов: SGK техногенных, болотных, озерно-болотных, озерно-ледниковых, флювиогляциальных, моренных и покровных отложений.

Отмечается значительная изменчивость и неоднородность формирований в латеральной плоскости и в разрезе.

Современные озерно-болотные отложения представлены илами, недоуплотненными суглинками, что относит их к «специфичным» (слабым) грунтам.

Флювиогляциальные формирования имеют наклонное залегание в пределах Успенского холма.

Моренные отложения валдайского возраста формируют на территории два горизонта, которые располагаются на разных высотных отметках. Верхний моренный горизонт распространен локально на участке Ивановского холма. Нижний моренный горизонт, представленный серыми суглинками имеет повсеместное распространение, его кровля находится на глубинах от 3,1 м до 21,2 м. Автором составлена схема изолиний поверхности

кровли второго горизонта (серого моренного суглинка). Анализ формы изолиний позволяет говорить о несовпадении рельефа кровли моренного горизонта и современной дневной поверхности в восточной части территории.

В гидрогеологическом строении на территории монастыря до глубины 20,0 м выделены:

- техногенный водоносный горизонт в валунных фундаментах исторических сооружений (комплекс Успенского собора, крепостные сооружения Нового города);
- спорадически распространенный горизонт подземных вод типа «верховодки» в грунтах культурного слоя и обратной засыпки;
- водоносный горизонт озерно-болотных отложений;
- первый от поверхности водоносный горизонт флювиогляциальных и озерно-ледниковых формирований;
- напорный горизонт флювиогляциальных отложений.

На территории зафиксированы проявления процессов подтопления, криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания, в результате которого происходит сезонное знакопеременное перемещение (пульсация) стен памятников

Для наглядного представления информации о компонентах инженерно-геологических условий и строения сферы взаимодействия автором была актуализирована схематичная карта инженерно-геологических условий территории монастыря и разрезы к ней.

ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ «КОНЦЕПЦИИ...» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЛОКАЛЬНОЙ ИПТС «КИРИЛЛО-БЕЛОЗЕРСКИЙ МОНАСТЫРЬ»

Концепцию раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов предлагается применять к локальным ИПТС с целью разработки превентивной системы предотвращения деформаций памятников архитектуры, а также диагностики причин деформаций. Эта концепция, должна являться составной частью общей концепции сохранения устойчивости памятников архитектуры.

Главные положения «Концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов в основании сооружений» были рассмотрены в главе 1 данной работы. Они были разработаны в конце 90-х годов и опробованы на ряде актуальных ПТС [113,114].

Главная задача предлагаемой концепции – найти путь решения проблемы длительного обеспечения устойчивости памятников разной степени сохранности и устойчивости. Необходимо отметить, что представляемая схема является в определенной степени идеальной и ступени её реализации, для разных локальных ИПТС, находящихся в разных условиях, не обязательно осуществлять в жёсткой последовательности.

4.1. Алгоритм применения «Концепции...» для локальных ИПТС

Методологической основой «Концепции...» является системный подход, риск-анализ и основы создания мониторинга литотехнических систем.

Общий алгоритм реализации концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов применительно к ИПТС разбивается на несколько этапов и был сведен к следующей схеме (Рис. 30) и в видоизмененном виде применен к комплексу Успенского собора [110].

Алгоритм концепции позволил систематизировать и структурировать имеющийся материал по проведенным инженерно-геологическим исследованиям и режимным наблюдениям, провести оценку состояния и режима функционирования элементарной ИПТС Соборного комплекса, установить структуру сферы взаимодействия, парагенез процессов, влияющих на устойчивость памятников. Проведенные работы дали возможность скорректировать и оптимизировать управляющие мероприятия.



Для локальных архитектурных ИПТС представляется необходимым видоизменить общий алгоритм следующим образом. Рис. 31



Ниже последовательно рассматриваются этапы предлагаемого алгоритма и возможность его применения для локальной архитектурной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря.

4.2. Специальное аналитическое исследование

В первый блок «Концепции...» входит специальное аналитическое исследование, результатом которого должна являться Программа дальнейших исследований, основанная на структурировании локальной ИПТС и предварительном выявлении зон риска развития негативных инженерно-геологических процессов.

Методика проведения специального аналитического исследования во многом индивидуальна, зависит от типа локальной ИПТС и включает в себя: энергоинформационную холистическую экспертизу (ЭХЭ), оценку изученности локальной ИПТС и в том числе оценку изученности подсистемы «СВ», ретроспективный анализ функционирования локальной ИПТС.

ЭХЭ применяется в том случае, когда локальная ИПТС изучена слабо, отсутствует информация об инженерно-геологических условиях территории и процессах, происходящих в основании памятников. Для локальной ИПТС «Кирилло-Белозерский монастырь» применение данной методики представляется нецелесообразным, из-за большого объёма имеющейся инженерно-геологической информации.

4.2.1. Оценка изученности подсистемы «СВ» локальной ИПТС.

Общая изученность включает в себя изученность всех структурных составляющих локальной ИПТС. Искусственные составляющие ИПТС – исторические и современные сооружения, в настоящее время, как правило, имеют глубокую степень изученности по разным направлениям – историческому, архитектурному и др. Изученность геологической среды, как правило, недостаточна. Определять изученность подсистемы «СВ» локальной ИПТС предлагается по аналогии со степенью гидрометеорологической изученности территории [137] по следующим градациям: детальная, недостаточно детальная, слабая, неизученная.

В таблице 17 приводится предлагаемая характеристика степени изученности подземной части искусственных подсистем и подсистемы «СВ» для элементарных ИПТС.

Таблица 17

Характеристика степени изученности подземной части искусственных подсистем и подсистемы «СВ» локальных ИПТС

Изученность	Подземной части искусственных подсистем элементарных ИПТС	Подсистемы «СВ»
Детальная	Определены состояние, конструкция, параметры, глубина заложения фундаментов главных несущих конструкций, проведена оценка состояния свайного основания.	Определены структура, строение, границы «СВ», изучена динамика ЭПП и ИПЦ, протекающих в границах «СВ»
Недостаточно детальная	Имеется общая картина, но недостаточно детализированная.	Имеется общая картина, но недостаточно детализированная.
Слабая	Освещены отдельные отрывочные моменты из общей совокупности.	Освещены отдельные моменты из общей совокупности.
Неизученная	Нет информации.	Нет информации.

В таблице 17 приводятся основные позиции, которые должны присутствовать в характеристике подземной части искусственных подсистем элементарных ИПТС –

фундаментов и необходимые положения, которые должны быть освещены при характеристике «СВ» для того, чтобы степень изученности носила название **детальная**. Если имеется общая картина строения «СВ» и фундаментов, степень изученности является **недостаточно детальной**. **Слабая изученность** предполагает наличие информации по отдельным пунктам. **Неизученными** считается подземная часть подсистемы «ПА» и «СВ» в том случае, когда не имеется конкретной информации.

Информацию, необходимую для оценки и характеристики подземной части элементарных ИПТС получают с помощью проходки и документации разведочных шурфов, располагаемых под главными несущими конструкциями памятников, в зоне развития деформаций. Формально – количество шурфов служит предварительной оценкой изученности. Отсутствие шурфов заставляет говорить о не изученности строения фундаментов. Один шурф характеризует слабую изученность, несколько – недостаточно детальную.

Сфера взаимодействия геологической среды и памятников изучается с помощью скважин, зондирования, опытных и лабораторных работ. Динамика взаимодействия – с помощью режимных наблюдений. Формально изученность может быть определена по количеству горных выработок и наличию пунктов сети мониторинга. Отсутствие горных выработок – **не изученность «СВ»**, одна скважина, точка зондирования - **слабая изученность**, несколько – **недостаточно детальная**. **Детальная изученность** с требованиями определения структуры, строения, границ «СВ», изучения динамики ЭГП и ИГП, протекающих в границах «СВ», требует проведения целенаправленного комплекса инженерно-геологических работ.

Особняком стоит вопрос об изученности фундаментов у памятников для которых были проведены противоаварийные работы, сопровождались усилением фундаментов. В Кирилло-Белозерском монастыре, к 2010 году, согласно архивным данным [72], фундаменты были подведены у 17 памятников. Для ряда памятников (Большие Больничные палаты, ц. Преображения и др.), реконструкция которых проводилась в 1950-70-х годах, проектная документация частично утрачена. В связи с этим, детальная информация об исторических фундаментах этих сооружений отсутствует. Качество проведенных строительных работ по усилению фундаментов было низким, о чем свидетельствуют зондировочные шурфы, которые зафиксировали отсутствие следов реконструкции у ц. Преображения (ш.2 МГРУ), у Вологодской башни (ш.34-36, 38,57,58) и другие. Таким образом информация, о подведенных к настоящему времени фундаментах является недостаточно достоверной и нуждается в уточнении. Следовательно, говорить о детальной

изученности реконструированных фундаментов нельзя, а следует применить к ней термин «недостаточно изученная».

Примером детальной изученности фундаментов памятника может служить комплекс Успенского собора [181].

Для детального изучения строения фундаментов сооружений комплекса Успенского собора в 2005 году было пройдено 9 шурфов дополнительно к четырём, проходка которых осуществлялась ранее. Шурфы располагались непосредственно у стен собора и его пристроек. Два шурфа были пройдены в интерьере центрального ядра собора, один (шурф 82 по каталогу) у северо-западного столпа, другой в северо-западном углу (шурф 83), один (шурф 74) в интерьере ц. Владимира, остальные шесть – у наружных стен соборного комплекса.

Размеры шурфов определялись условиями их проходки, но в основном составляли 1х2 м. Глубина шурфов составляла от 1,5м до 3,2м. Проходка шурфов осуществлялась вручную, лопатами. Одна сторона шурфа вскрывала фундаментную стенку на всю её высоту, заглубляясь по возможности ниже обреза фундамента для изучения свайного основания. Грунт разбирался по литологическим слоям, с переборкой вынимаемого грунта совками. В ходе разбора культурного слоя производился отбор артефактов, зачистка всей поверхности шурфа после разбора каждого из крупных слоев. Грунт в шурфе выбирался на глубину, соответствующую нижним отметкам валунной кладки фундаментов и верхним отметкам деревянных свай, забитых в основание фундаментных рвов.

После завершения земляных работ была проведена зачистка валунной кладки фундаментов, фотографическая фиксация стратиграфических профилей.

По результатам проведенного анализа имеющегося материала была составлена сводная таблица изученности подземной части ИПТС памятников Кирилло-Белозерского музея-заповедника. В таблице приведены сводные данные по степени изученности выделенных элементарных ИПТС для Успенского, Ивановского монастырей и крепостных стен Нового города. Общее количество выделенных элементарных ИПТС 53 – не совпадает с Генеральным перечнем объектов недвижимости из-за выделения в качестве отдельных объектов участков прясел крепостных стен XVI и XVII в.в.

В таблице, для выделенных элементарных ИПТС (сгруппированных по территориальному признаку), приведено количество горных выработок (скважин, шурфов, точек зондирования), пройденных для изучения «СВ», число пунктов мониторинга за изменением состояния «СВ». В отдельных графах приводятся линейные размеры памятников, указывается время проведения реставрационных работ и подводки

фундаментов, дается оценка изученности сферы взаимодействия элементарной ИПТС с геологической средой.

В настоящее время из 53 выделенных элементарных ИПТС к детально изученным можно отнести 11 (комплекс Успенского собора ц. Введения с Трапезной палатой, участок прясла крепостных стен между Вологодской и Кузнечной башнями, Вологодская башня и др.), недостаточно изучены 17, что вместе составляет больше половины от общего количества (раньше - пятую часть) Данные об общей изученности приведены в таблице 18.

Таблица 18

Общая изученность «СВ» элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря 2003, 2016 г.г.

	Количество выделенных элементарных ИПТС	Изученность «СВ»			
		Детальная	Недостаточно детальная	Слабая	Неизученная
Успенский монастырь	30	6/1	12/6	10/18	2/5
Ивановский монастырь	10	-	2	3	4
Новый город	13	5/2	3/1	3/4	2/6

*в числителе: значения 2016 г., в знаменателе 2003 г.

Таким образом, для половины выделенных элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря строение сферы взаимодействия изучено слабо или не изучено совсем. Таблица показывает значительное увеличение элементарных ИПТС, имеющих детальную и недостаточно детальную изученность, что связано с планируемыми реставрационными работами по крепостным стенам и башням Нового города и проведением комплекса инженерно-геологических работ по этим объектам.

Отсутствие информации о строении «СВ» не даёт возможность:

- дать достоверную оценку состояния всей системы;
- принятия адекватных управляющих решений;
- прогноз режима функционирования систем в дальнейшем.

Отсутствие «точечной» информации может быть в какой-то степени скомпенсировано наличием региональной информации, знанием закономерностей, что позволяет интерполировать и экстраполировать общие данные для конкретных целей. Однако, как правило инженерно-геологическая информация территориального характера является очень общей и не может быть применима, а информация под конкретные объекты не экстраполируется на соседние площади.

4.2.2. Применение ретроспективного анализа для изучения ИПТС

Для изучения ИПТС требуются особые методические подходы, одним из которых является **ретроспективный анализ** [73,98,117].

Ретроспективный анализ может рассматриваться как один из важнейших элементов специального аналитического исследования «Концепции...». Глубина ретроспективного анализа определяется продолжительностью существования ИПТС и обычно составляет несколько веков.

Целями ретроспективного анализа являются:

- установление истории функционирования и общего режима функционирования ИПТС;
- установление причинно-следственных связей между внешними и внутренними техногенными взаимодействиями и изменениями в подсистемах ИПТС;
- оценка последствий этих изменений.

Ретроспективный анализ дает возможность приближенно выяснить каким техногенным взаимодействиям и в какое время подвергалась ИПТС, какие были последствия этих взаимодействий, каким преобразованиям подвергалась планировочная структура территории (локальная ИПТС) и компоновка исторического сооружения.

Ретроспективный анализ для локальной и элементарных ИПТС имеет свои особенности.

Для **элементарных ИПТС** в ходе ретроспективного анализа прежде всего изучается искусственная подсистема - «Памятник», изменение её структуры. Это включает изучение конструктивных особенностей сооружения, историю перестроек, ремонтов, реконструкций, что позволяет воссоздавать изменения в подсистеме «Сфера взаимодействия памятника и геологической среды (СВ)», а также диагностировать причины деформаций памятников.

Для **локальных ИПТС** во время проведения ретроспективного анализа изучаются, главным образом, изменения, происшедшие в общей структуре системы (появление и последовательность появления новых подсистем), а также изменения в «СВ» в связи с техногенными взаимодействиями.

Показателями ретроспективных изменений для подсистемы «СВ» локальной ИПТС являются:

- изменение рельефа и высотных отметок поверхности;
- изменение мощности техногенных грунтов;
- изменение гидрогеологических условий (положение уровня грунтовых воды, формирование верховодки, техногенных водоносных горизонтов);

- развитие инженерно-геологических процессов.

В ходе исследований памятников Кирилло-Белозерского монастыря особенно ярко необходимость ретроспективного анализа проявилась при изучении комплекса Успенского собора – **элементарной ИПТС** [110,117,180].

Соборный комплекс, наиболее ценный в историко-архитектурном отношении памятник ансамбля, имеет сложную архитектурно-строительную структуру и историю, включает в себя пять построек – Успенский собор с четвериком, ц. Кирилла, ц.Владимира, ц. Епифания, Северную паперть. Композиционно комплекс представляет собой конгломерат построек различного возраста, который мы рассматриваем как элементарную ИПТС сложной структуры. Главные моменты функционирования ИПТС сведены в общую хронологическую таблицу 19. В истории функционирования ИПТС можно выделить этапы развития и функционирования системы, периоды эксплуатации, реконструкции, кризисной эксплуатации.

Хронология функционирования системы показывает главные этапы её формирования, изменения структуры. В настоящее время храм 1497 года окружен более поздними сооружениями или же фрагментами несохранившихся построек (Северная паперть является частью общей паперти, которая окружала собор с севера, и запада). Церковь Кирилла и северный притвор собора, (постройки конца XVIII в.), являются сооружениями совсем другой строительной техники, чем храмы XVI в. Высота фундаментов ц. Кирилла составляет 2,8 м, а Успенского собора изменяется от 1,0 до 1,9 м, нагрузка на основание увеличилась примерно в 1,5 раза, основанием являются другие ИГЭ.

В начале 2000-х году ИПТС находилась в кризисном периоде своего развития, что подчеркивалось в Заключении Комиссии Федерального научно-методического совета по сохранению культурного наследия об остроаварийном состоянии памятника [45]. Выход из кризисного периода был возможен только через полномасштабную реконструкцию ИПТС, выводе её на другую «траекторию движения». Реконструкция, проведенная в 2010-2015 гг. позволила системе вновь войти в эксплуатационный режим и эффективно функционировать.

Таким образом, для Успенского собора, который представляет собой конгломерат построек и пристроек разного возраста, ретроспективный анализ позволил установить этапы и периоды функционирования системы, архитектурно-строительные особенности сооружений, последовательность их возведения, время основных ремонтных работ. Это позволило учесть особенности строения и структуры ИПТС Успенского собора при составлении Программы исследовательских работ.

Основные моменты хронологии функционирования ИПТС Успенского собора

Этап	Период	Дата	Событие
Развития 1497- середина XVIIв.	Эксплуатации	1497	Строительство Прохором Ростовским с товарищами каменного здания Успенского собора за 5 месяцев.
		1554	Пристройка с севера к собору Владимирского придела – небольшого, квадратного в плане, бесстолпного храма со световым барабаном
		1585-1587 г.г.	Сооружение над гробницей Кирилла Белозерского симметрично приделу Владимира, бесстолпного, одноглавого с трехчастной апсидой придела Кирилла (не дошедший до настоящего времени).
		Середина ХУ1в	Пристройка к собору с северной и западной сторон папертей, которые после переделок сделали крытыми.
		1641-1650	Роспись собора и паперти Любимом Агеевым с артелью костромских иконописцев
		1645	Пристройка ц. Епифания к северной стене Владимирской церкви, сооружена над могилой князя Ф. Телятевского, повторяет по объему и декору Владимирскую церковь.
Функционирования Середина XVII-XXI в	Реконструкции	1731	Слом западной паперти, строительство новой высокой паперти. Переделка интерьера собора – пробитие западной стены, подведение к западным столбам прикладок с опирающимися на них арками. Сооружение перед входом на западную паперть небольшой полукруглой в плане паперти со сводчатым завершением.
		1777-1791	Большой ремонт храм, сооружение тяжеловесного четверика на месте западной паперти.
		1781-1785	Строительство Кирилловской церкви на месте разобранного от ветхости придела Кирилла.
	Кризисной эксплуатации	Конец XIX в.	Большие ремонтные работы к 400-летию собора
		1928-1938	Ремонтные работы. Укрепление фресковой штукатурки в Успенском соборе. Облицовка стен со штукатуркой и подкладкой кирпичом, взамен выпавших по цоколю. Раскрытие дверных проемов и удаление поперечной стенки, делившей Северную паперть на две кладовые.
		1969	Начало архитектурной реставрации Успенского собора. Срезка грунта вокруг собора с отводом воды. Сооружение отмосток. Снятие полов в соборе и на паперти для просушивания.
		1975	Подвод центрального отопления к ц. Кирилла
		1978-1987г.г.	Реставрационные работы по стенным росписям Успенского собора «Росреставрация» МНРХУ.
		1992 - 1997 г.г.	Ремонтно-реставрационные работы в соборе по настилке деревянных полов, вставке двойных рам на окна, побелки откосов, замена кровельного покрытия. Работы по созданию первой очереди дренажной системы для отвода воды из грунтов основания Успенского собора.

Этап	Период	Дата	Событие
		1994-1997г.г.	Реставрация ц. Кирилла.
		2001г.	Заключение Комиссии Федерального научно-методического совета по сохранению культурного наследия об остроаварийном состоянии памятника.
		2005-2007г.г.	Исследовательские и проектные работы для комплексной реставрации комплекса
		2011г.	Строительство кольцевой дренажной системы.
		2011-2015г.г.	Реставрационные работы в интерьере храма – устройство теплых полов, укрепление фундаментов
		2015г.	Завершение комплексных реставрационных работ, открытие комплекса для экскурсионного показа.

Главными ретроспективными техногенными взаимодействиями для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря явились [77,167,168]:

- строительно-хозяйственные мероприятия, проводившиеся в XVI веке во время возведения крепостных стен Старого города, (организация рельефа, использование имеющихся водотоков для хозяйственных целей – сооружение мельниц, плотин);
- мероприятия, проводившиеся в XVII веке во время возведения крепостных стен Нового города (организация рельефа, строительство фортификационных сооружений);
- строительство в начале XIX века Северо-Двинской гидротехнической системы (гидротехнической ИПТС), включивший в состав верхнего бьефа Сиверское озеро, на берегу которого располагается монастырь.

На время завершения вышеперечисленных крупных этапов строительно-хозяйственной деятельности: (t_1 , t_2 , t_3) и настоящего времени (t_4), был проведен анализ изменения инженерно-геологических условий. Основой для анализа являются имеющиеся исторические и инженерно-геологические материалы по территории монастыря.

По имеющемуся фактическому материалу составлена обобщенная таблица – матрица изменений показателей в подсистеме «СВ» для выделенных инженерно-геологических участков (I, II, III). Установлено, что максимальное изменение инженерно-геологических условий, характеризуемое выбранными показателями, для участка III произошло в интервал времени между серединой XVIIIв (t_2) и началом XIXв. (t_3) ($\Delta t_2 - t_3$), что связано с крупными строительными работами по возведению крепостных стен и башен Нового города, оборонительных валов и рвов.

Для участков I и II максимальные изменения зафиксированы за последние 200 лет, ($\Delta t_3 - t_4$), и связаны они со строительством Северо-Двинской гидротехнической системы.

Изменение положения уровня Сиверского озера (Северо-Двинская гидротехническая ПТС) повлекло за собой:

- затопление части прибрежной территории монастыря вне крепостных стен, подтопление значительной части территории монастыря, прилегающей к озеру;
- изменение гидрогеологического режима значительной части территории монастыря;
- изменение гидрологического режима речки Свяги и протоки, соединяющей озера Сиверское и Долгое.

Защитные мероприятия, осуществленные в XIX веке, включали в себя берегоукрепительные мероприятия (валунная набережная), повышение дневной поверхности путём подсыпки грунтов (рост слоя техногенных грунтов) на территории, прилегающей к озеру. Изменения, произошедшие в подсистеме «СВ», вызвали активизацию инженерно-геологических процессов (подтопление, морозное пучение грунтов, подсос влаги) и развитие деформаций памятников.

Таким образом, данный пример показывает, что ретроспективный анализ взаимодействия ИПТС разного вида (в данном случае архитектурная и гидротехническая) является эффективным, и его результаты могут служить основой для прогнозной оценки устойчивости функционирования ИПТС при новых условиях.

Современное техническое состояние памятников нельзя рассматривать и оценивать вне связи с теми событиями, которые происходили с ними в недавнем прошлом и в более ранние периоды их существования. Необходимо проводить ретроспективный анализ с учётом последовательности осуществления техногенных взаимодействий и оценки относительной устойчивости компонентов геологической среды к произведённым изменениям в пределах рассматриваемой сферы взаимодействия, так как без этого невозможно оценить современное состояние исторических природно-технических систем и дать прогноз их функционирования.

4.3. Инженерно-геологическое обследование локальной ИПТС.

На втором этапе реализации концепции раннего предупреждения осуществляется инженерно-геологическое обследование объекта с целью уточнения диагностики, полученной на первом этапе. Применяя методику для локальной ИПТС необходимо осуществлять инженерно-геологическое исследование, учитывая её специфику. Особенности строения и структуры локальных ИПТС, определяют необходимость использования при инженерно-геологическом обследовании специализированной инженерно-геологической съёмки, и метода инженерно-геологической диагностики причин деформаций памятников Е.М. Пашкина [87,88,89,96]. Результатом изучения является

диагноз состояния ИПТС на момент исследования, характеристика состояния и оценка режима функционирования ИПТС.

4.3.1. Специализированная инженерно-геологическая съёмка – необходимый метод изучения подсистемы «Сфера взаимодействия» локальных ИПТС.

Локальные ИПТС занимают, как указывалось выше, значительные по размеру площади, имеют сложную структуру, включающую в себя элементарные ИПТС (памятники), природно-археологическую систему (ПАС) культурного слоя, природно-трансформированные системы водных и ландшафтных объектов (ПТРС), современные ПТС, являются особо ценными и охраняемыми. Структура локальных ИПТС требует соответствующего подхода к изучению подсистемы «сфера взаимодействия», инженерно-геологических условий, здесь на первый план выходит площадные исследования, которые смогут оценить состояние и взаимодействие всех структурных компонентов системы.

Инженерно-геологическая съёмка, как известно [12,47], комплексный метод получения информации о состоянии геологической среды на площадях. При исследовании локальных ИПТС инженерно-геологическая съёмка приобретает особые черты и поэтому логично назвать её специализированной.

Специализированная инженерно-геологическая съёмка должна охватывать всю территорию, занимаемую локальной ИПТС. С её помощью выявляют природные и техногенные факторы, влияющие на сохранность исторической территории, изучают инженерно-геологические условия на глубину «СВ», уделяя особое внимание характеристике культурного слоя, особенностям и физическим свойствам техногенных грунтов, его слагающих, выявляют и характеризуют развивающиеся в пределах изучаемой территории экзогенные геологические и инженерно-геологические процессы.

Цель съёмки – получение комплексной информации о локальной ИПТС, необходимой для выявления зон риска развития негативных инженерно-геологических процессов в основаниях исторических сооружений и на территории, составления проекта мониторинга состояния подсистемы «СВ», а также комплексного проекта благоустройства и защиты территории. По материалам съёмки составляется картографическая модель подсистемы сферы взаимодействия локальной ИПТС.

Отсутствие комплексных площадных материалов не позволяет построить полноценную модель сферы взаимодействия. Примером этого является изучение локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря. Значительная площадь, сложные инженерно-геологические условия, неоднородность и изменчивость геологической среды, отсутствие средств на проведение комплексных инженерно-геологических работ по территории, сделали невозможным построение кондиционной карты инженерно-геологических условий

– картографической модели подсистемы «СВ». На представляемой карте (Рис. 19) – ¼ часть изучаемого пространства закрашена белым цветом – это так называемые «белые пятна», по которым отсутствует инженерно-геологическая информация. Результатом этого является невозможность охарактеризовать строение сферы взаимодействия с геологической средой ПАС культурного слоя, ПТрС речки Свяги.

Подбор методов и объёмов специализированной съёмки должен быть индивидуальным, базироваться на Программе работ, основанной на материалах специального аналитического исследования, учитывающей принципы минимизации ущерба при изучении исторических сооружений, ландшафта, и в том числе культурного слоя.

Специализированная инженерно-геологическая съёмка на исторических территориях должна быть комплексной и включать в себя помимо традиционных методов:

- инженерно-геологическую диагностику памятников [87,88,89];
- геофизические методы исследований (в частности применение георадаров), позволяющих устанавливать наличие, местоположение, особенности погребённых древних коммуникаций, фундаментов, конструкций и др.;
- горнопроходческие работы (проходка шурфов), позволяющих изучить конструктивные особенности и современное состояние фундаментов сохраняемых объектов, а также подфундаментного пространства (в том числе свайного поля), контакта «фундамент-грунт», грунтовых оснований фундаментов.

Основными методами исследований являются бурение, в том числе и ручное, проходка шурфов, статическое (вертикальное и наклонное) и динамическое зондирование, геофизические методы и др.

Наиболее информативными для исторических территорий является проходка шурфов, так как позволяет охарактеризовать состояние фундамента, исследовать детально контакт фундамента с грунтовым основанием и в естественном залегании изучить культурный слой.

Обычно при принятии решения о количестве и месте размещении шурфов руководствуются, прежде всего, конструктивными и архитектурными особенностями сооружений, а именно различием в объёмах здания, передающих различную нагрузку на основание; исходном предназначении, материалах и времени строительства отдельных элементов сооружения или комплекса, особенно при возможных более поздних перестройках и реконструкциях, которые повлекли изменение параметров и конструкцию первоначальных фундаментов сооружения. Следует также учитывать местоположение деформаций памятника, особенно связанных с основанием сооружений и археологическими особенностями участка исследований.

Размеры и глубина шурфов обусловлены конструктивными особенностями фундаментов и, прежде всего, глубиной его заложения. Фундаменты исторических сооружений представляют собой, как правило, бутовый ростверк, чаще на деревянных сваях, конструкцию и состояние которых необходимо учитывать при реставрационных работах. Шурф должен по возможности вскрыть полностью бутовую часть фундамента и некоторый объём грунтового основания под ним для проведения специальных исследований, в том числе опробования грунтов основания для последующего определения показателей их физико-механических свойств, наличия и состояния деревянных свай, лежней.

Для эффективного изучения контакта «фундамент-грунт» следует применять метод статического и динамического зондирования с помощью ручного зонда в шурфах [20,138]. Помимо традиционных методик вертикального статического зондирования, профессором В.В. Дмитриевым была разработана методика наклонного зондирования [30,34]. Суть этой методики в проведение наклонного (иногда почти горизонтального) хода зонда под нижним обрезом бутовой части фундамента, что позволяет оценить состояние не только грунтового массива, расположенного непосредственно под сооружением, но и свайного поля, вскрыть которое для визуального обследования чаще всего практически невозможно, не поставив под угрозу устойчивость сооружения. На составленных по результатам зондирования графиках изменчивости удельного сопротивления грунта и свай статическому сжатию под конусом зонда можно выявить ослабленные или уплотненные зоны, связанные с наличием свай, иногда частично или полностью сгнивших, или образовавшихся от них пустот, заполненных насыпным грунтом. Изменяя направленность и глубину погружения зонда, можно оценить параметры и состояние свайного поля в достигаемом пространстве вскрытого массива грунтового основания. Неоценимы возможности ручного зондирования и для контроля качества закрепления фундаментов сооружений в ходе реставрации. Так с помощью наклонного статического зондирования в подфундаментном пространстве можно выделить участки укрепленных фундаментов и сохранившиеся, даже после реставрации, полости от сгнивших свай.

Важный аспект проведения специализированной съемки – археологическое сопровождение [16,138]. При проходке шурфов нарушается целостность культурного слоя, окружающего памятник архитектуры, поэтому в составе исследовательской группы всегда должен присутствовать археолог, который осуществляет надзор за проходкой шурфа для фиксации артефактов, а после окончания проходки выполняет описание стенок шурфа с целью документации состава и структуры культурного слоя. Как показывает практика, совместное составление программы работ, согласование мест расположения шурфов делает

возможным проходом шурфов археологами, что делает шурфы более качественными. Совместный археологический и инженерно-геологический анализ напластований культурного слоя, позволяет, как правило, делать интересные выводы о хозяйственной деятельности человека на период строительства и предшествующие ему этапы, что важно для проведения ретроспективного анализа. Обследования в шурфе всегда сопровождаются фотодокументацией и производством необходимых геодезических привязок.

Во время проведения съёмки необходимо обращать внимание на археологические сведения, касающиеся более древнего предназначения исследуемой территории. Достаточно типично, для территорий с древней историей освоения, наличие погребенных фрагментов древних построек или захоронений, которые в современном рельефе никак себя не проявляют. Не редки случаи, когда в основании или даже в фундаменте более поздних сооружений, отмечаются места таких погребений, наличие которых, приводит к неоднородности основания и ослабляет фундамент, что в свою очередь может вызывать развитие дополнительных напряжений в конструкции сооружения и приводить к его деформации.

Бурение скважин должно проводиться на глубину сферы взаимодействия сооружения и геологической среды, в том числе и с учётом её изменений в прошлом. Методика проведения работ достаточно традиционная для инженерно-геологических изысканий, исключение составляет только более подробное описание всех напластований техногенных отложений (в том числе и культурного слоя), соответствующее их опробование, а также обязательная фотофиксация. С учётом того, что чаще исторические территории имеют достаточно плотную застройку, следует применять компактные установки для ручного бурения, использование которых возможно в весьма стесненных условиях и в том числе в шурфах, к тому же бурение такого типа является более щадящим для культурного слоя и исторического ландшафта в целом.

Применение геофизических методов исследований, которые помимо традиционного использования, позволяет косвенно охарактеризовать особенности фундаментов (в частности, габариты и глубину погружения свай), расчлнить грунтовое основание и выявить неоднородности и полости в пределах культурного слоя, в том числе форму погребенного палеорельефа.

Специализированная инженерно-геологическая съёмка должна рассматриваться как один из важнейших элементов методики инженерно-геологических исследований, проводимых при изучении локальных исторических природно-технических систем, направленных для создания проектов реставрации, комплексной планировки и благоустройства, а также инженерной защиты исторических территорий и сооружений.

4.3.2. Характеристика состояния (диагноз) и оценка режима функционирования элементарных ИПТС

Комплексная оценка состояния ИПТС, предполагает изучение функциональных характеристик и свойств её подсистем. Кроме этого, необходимо определить устойчивость и результативность функционирования системы в настоящее время, в данном виде, в данных условиях, то есть дать оценку режиму функционирования и спрогнозировать его в дальнейшем.

При оценке функционального состояния ИПТС важно определить её характеристики не только на данный момент времени, но и в развитии. Прогноз предполагает наличие априорной, и апостериорной информации о состоянии главнейших компонентов системы. Для исторических ПТС, как правило, отсутствует и тот и другой вид информации, но ретроспективный анализ функционирования ИПТС позволяет (довольно условно, в связи с малым количеством зафиксированных данных) проследить причинно-следственные связи, приведшие к настоящему состоянию системы [73,98].

Функционирование ИПТС происходит в определенном режиме. (Режим – установленный распорядок жизни, от лат – управление). Режим «жизни» и эксплуатации памятников устанавливался долгое время, неоднократно менялся в зависимости от многих объективных и субъективных обстоятельств, но в большинстве случаев он определялся режимом функционирования памятника как подсистемы ПТС. Рассмотрим более детально этапы функционирования ИПТС.

Согласно теории природно-технических систем [5,13] функционирование ПТС начинается с момента строительства и продолжается в период эксплуатации сооружения. Функционирование ПТС заканчивается во время ликвидации (сноса, разрушения) сооружения. В режиме функционирования элементарных ПТС любого типа выделяют две стадии.

Первая – стадия неустановившегося режима ПТС, охватывающая период от начала строительства до некоторого момента времени после его завершения. Эта стадия формирования системы, во время которой происходит быстрое изменение структуры и свойств геологической среды, входящей в СВ. Неустановившийся режим функционирования ПТС характеризуется значительной скоростью и интенсивностью инженерно-геологических процессов (нестационарный режим процессов). В качестве примера: уплотнение грунтов в основании зданий во время и срезе после его возведения, сопровождающееся осадкой.

Вторая – стадия установившегося режима, в который постепенно переходит ПТС (переходной этап – обязательно существует, его продолжительность определяется

конкретными условиями). Стадия установившегося режима характеризуется тем, что процессы взаимодействия подсистем ПТС, реализующиеся как инженерно-геологические процессы, достигают стадии стабилизации и их режим можно охарактеризовать как стационарный, квазистационарный или периодический.

Функционирование ПТС должно осуществляться в оптимальном, заданном режиме, в таком, при котором, взаимодействия её подсистем не выходят за предусмотренные заранее и учтенные в проекте рамки. Таким образом обычные современные ПТС функционируют, как правило, в установившемся режиме.

Для исторических ПТС, имеющих сверхдлительный срок функционирования, **стадия установившегося режима**, характеризуется следующим. Во-первых, она всегда является технологичной, обусловленной значительным запасом устойчивости системы, во-вторых, процессы взаимодействия подсистем достигли стадии стабилизации и имеют в стационарный, квазистационарный или периодический характер.

Установившийся режим функционирования ИПТС с развитием процессов взаимодействия, имеющих стационарный характер, характеризуется тем, что ИПТС функционирует *в оптимальном режиме*, наблюдается практически полное отсутствие деформаций в несущих конструкциях, фундаменты либо реконструированы и усилены, либо исторические конструкции фундаментов находятся полностью в рабочем состоянии.

Стационарный характер развития ИПП на некотором этапе может измениться и принять квазистационарный или периодический характер. Такой переход осуществляется в одних случаях из-за эволюционных изменений в сфере взаимодействия, в других из-за некомпенсированной техногенной и хозяйственной деятельности или изменения внешних условий существования ПТС, вызывающих появление, или активизацию инженерно-геологических процессов с квазистационарным и периодическим характером. Примерами таких процессов для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря могут служить развитие процессов криогенного пучения грунтов обратной засыпки, из-за изменившегося микрорельефа вокруг памятника, (обратные уклоны поверхности) и переувлажнения техногенных грунтов (комплекс Успенского собора), или процесс подтопления, из-за которого происходит периодическое изменение влажности грунтов основания из-за колебания уровня грунтовых вод, связанного с уровнем поверхностного водоёма (Сиверского озера).

Установившийся режим функционирования ИПТС с развитием процессов с квазистационарным или периодическим характером может быть охарактеризован тем, что ИПТС функционирует длительное время, но в далеко *не в оптимальном режиме*. Проявлением «не оптимальности» служат изменения в подсистеме «памятник» – различные

локальные деформации в конструкциях, связанные не с конструктивными особенностями, не с фактором износа материалов, а с реакцией конструкций на периодическое изменение условий работы. Этот вид режима имеет тенденцию перехода в неустановившийся из-за утраты компенсационных способностей подсистемы «памятник».

Формирование неустановившегося режима функционирования носит двойной характер. В одних случаях он фиксируется у ИПТС во время крупных реставрационных мероприятий (целенаправленных управляющих воздействий), направленных на улучшение состояния памятника – подсистемы «ПА», когда меняются конструктивные схемы, происходят изменения на функциональных уровнях подсистемы. Он носит управляемый, технологичный характер (его условно можно назвать **искусственным**) и после проведения мероприятий неустановившийся режим функционирования обычно меняется на переходный с выходом на установившийся с заданными параметрами. В некоторых случаях при недостаточности или ошибочности управляющих взаимодействий режим опять возвращается в установившийся, квазистационарный на новом уровне устойчивости системы.

В других случаях неустановившийся, нестационарный режим формируется нетехнологичным, стихийным («естественным») путём, под влиянием действия природных, техногенных или эволюционных факторов, или в силу того, что компенсационная устойчивость подсистемы «памятник» исчерпывается.

Для нестационарного характера режима ИПТС свойственна максимальная динамика в развитии – высокие скорости и градиенты изменения показателей, присутствие явного тренда, что проявляется в разнообразных и многочисленных деформациях несущих конструкций, угрожающих функциональной устойчивости.

Неустановившийся режим функционирования обычно приводит к аварийной ситуации, в крайнем случае к ликвидации ИПТС (утраты функциональной способности системы) за короткое время и является наиболее опасным для ИПТС.

Таким образом, информация о режиме функционирования ИПТС дает возможность принятия обоснованных решений по выбору и последовательности проведения управляющих мероприятий, а определение характера процессов позволит составить прогноз функционирования системы.

Общая характеристика состояния подсистем ИПТС при разных режимах функционирования приводится в таблице 20.

Общая характеристика состояния подсистем ИПТС при разных режимах функционирования системы

Режим ИПТС	Вид режима	Характер режима развития ИГП	Подсистема «СВ»:	Подсистема ПА	
			Динамика процессов в основании	Состояние конструкций	Фундаменты, деревянные конструкции в основании
Установившийся	Технологичный	Стационарный	Процессы в стационарном режиме или отсутствуют	Практически полное отсутствие деформаций. Функциональная устойчивость	Реконструированные, или исторические в хорошем состоянии.
		Квази стационарный	Минимальные скорости и градиенты развития процессов незначительный тренд и незначительные изменения в показателях состояния, развитие процессов эволюционного характера.	Локальные деформации в несущих конструкциях.	В основном не реконструированные, исторические, деревянные конструкции в основании разной степени сохранности.
		Периодический	Периодические изменения в показателях состояния.	То же.	То же.
Неустановившийся	Нетехнологичный	Нестационарный	Максимальные: скорости и градиенты развития процессов явный тренд и значительные изменения в показателях состояния, развитие процессов эволюционного характера.	Многочисленные деформации в конструктивных элементах разного генезиса, угрожающие функциональной устойчивости.	Не реконструированные, исторические. Деревянные конструкции в основании (сваи, лежни) плохой степени сохранности.
	Технологичный		То же, кроме эволюционной составляющей.	Усиление конструктивных элементов, ликвидация деформаций.	Реконструкция фундаментов, усиление фундаментов и грунтов основания.

Оценка режима функционирования ПТС дается на основе режимной информации, наблюдений за изменением параметров протекающих процессов и характеристик, определяющих состояние подсистем. Однако для ИПТС, как правило, режимной информации нет, поэтому **предварительная оценка режима** функционирования может быть дана на основе характеристик состояния подсистем и проявлений развития процессов.

В частности, отсутствие деформаций в конструкциях – показатель установившегося, стационарного режима работы ИПТС.

В качестве главных характеристик подсистемы «Памятник», определяющих её состояние, предлагается выделить следующие позиции:

1. Состояние несущих конструкций, характеризуемое видимыми деформациями, распространенностью нарушений целостности, может определяться в соответствии с таблицей 18. Распространенность деформаций может быть оценена по таблице 21.

Таблица 21

Распространенность деформаций		
степень		Характеристика
I	единичная	Редкие нарушения и трещины приурочены к отдельным участкам конструкций
II	локальная	Нарушения и деформации приурочены к конкретным участкам конструкций
III	широкая	Многочисленные нарушения и деформации встречаются повсеместно

2. Характеристика конструкций фундаментов и свайного основания.

Фундаменты: вид (валунные, бетонные), форма (прямоугольные, трапецевидные, расширенные от вертикали стены), высота, (м) глубина заложения от современной дневной поверхности (м).

Сваи – по наличию или отсутствию и сохранности – сваи полной сохранности; сваи с разрушенным оголовком; сваи разрушенные по остаточной длине с сохранившейся внешней структурой; сваи разрушенные до состояния древесного тлена; сваи – полости («стаканы»).

Подсистема «сфера взаимодействия памятника и геологической среды» характеризуется следующими параметрами:

- зафиксированными проявлениями процессов, величиной изменения наблюдаемых параметров;
- распространением и глубиной залегания УГВ;
- оценкой категории сложности геологического строения по степени изменчивости и видами SGK, развитыми в сфере взаимодействия.

Предварительная оценка режима функционирования элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря по выделенным параметрам показала следующее:

- большинство памятников функционирует в условиях установившегося квазистационарного режима, который не является оптимальным;
- элементарная ИПТС Успенского собора функционирует в установившемся оптимальном режиме;
- несколько ИПТС (прясло крепостных стен между Белозерской и Косой башнями, ц. Сергея Радонежского) в связи с продолжающейся реставрацией находятся в технологически неустановившемся режиме функционирования;
- ИПТС прясла крепостной стены между Свиточной башней и Рыболовецкой палаткой находится в неустановившемся, нестационарном режиме функционирования.

Общий характер режима функционирования локальной ИПТС Кирилло-Белозерского музея-заповедника может быть определен как установившийся, квазистационарный, не оптимальный.

Проведенная оценка режима функционирования ИПТС позволяет определить первоочередность принятия управляющих мероприятий для ИПТС

4.4. Риск-анализ развития негативных инженерно-геологических процессов на основе районирования.

Под понятием риск-анализ понимают процесс идентификации опасностей и оценки риска в качественном и количественном выражении для рассматриваемых локальных ИПТС. Подробно о риске в главе 1.1.

Риск-анализ проводится на основе информации, полученной в результате инженерно-геологических исследований локальной ИПТС, позволяющей строить картографические модели подсистемы сферы взаимодействия - карты инженерно-геологических условий и карты районирования.

Основы методики инженерно-геологического районирования разработаны в нашей стране профессором И.В. Поповым [5,12]. Им же предложена общая принципиальная схема инженерно-геологического районирования (регионального). В основу схемы положена таксономическая система соподчиненных территориальных единиц:

- инженерно-геологические **регионы**, выделяемые по геоструктурному (структурно-тектоническому) признаку (различные части платформ, складчатые области и т.д.), характеризующиеся различными инженерно-геологическими условиями: характером, мощностью, условиями залегания пород, их тектонической раздробленностью и т.д.;

- инженерно-геологические **области**, выделяемые в пределах инженерно-геологического регионов по геоморфологическим признакам с учётом абсолютных отметок местности, рельефа и его характера, строения долин и водораздельных пространств, современных экзогенных процессов. При расчленении могут быть выделены области первого, второго, третьего и др. порядков.
- инженерно-геологические **районы** выделяются в пределах областей в зависимости от литолого-генетических признаков горных пород;
- инженерно-геологические **подрайоны** и **участки** выделяют на основе учета гидрогеологических условий, состояния грунтов и т.д.

Для оценки и прогнозирования состояния локальных и элементарных ИПТС предлагается выделять следующие признаки инженерно-геологического районирования территорий, ими занимаемых (Таблица 22).

Для локальных ИПТС выделяют первые три уровня расчленения - по геолого-геоморфологическому, геологическому и гидрогеологическому признакам. **Таксоны: область, район и подрайон.**

Таблица 22

**Признаки детальной инженерно-геологической типизации
локальных ИПТС**

ИПТС	Уровень расчленения	Признаки	Таксоны
Локальная	1 УРОВЕНЬ	Геолого-геоморфологические (стратиграфо-генетические комплексы, геоморфологические структуры)	ОБЛАСТЬ
	2 УРОВЕНЬ	Гидрогеологические характеристики (глубина залегания УГВ, виды и распространенность водоносных горизонтов)	РАЙОН
Элементарная	3 УРОВЕНЬ	Литологические, классификационные характеристики грунтов (строение «СВ», выделение ИГЭ)	ПОДРАЙОН
	4 УРОВЕНЬ	Функциональные характеристики памятников (глубина заложения фундаментов, сохранность функциональных компонентов)	УЧАСТОК

Подобная схема инженерно-геологического районирования типична, она позволяет прогнозировать развитие инженерно-геологических процессов в основании сооружений. Для участков, на которых располагаются элементарные ИПТС, представляется необходимым проводить более детальное районирование на основе информации о строении

и структуры сферы взаимодействия памятника и геологической среды [110,112,171,180], а также процесса её эволюции.

Строение и структура сферы взаимодействия определяется строением и взаимоотношением двух функциональных блоков – подземной части памятника – фундамента и частью геологической среды, взаимодействующей с ним – сферой взаимодействия, ограниченной границами зон развития инженерно-геологических процессов.

Для элементарных ИПТС предлагается выделять уровни расчленения на основе литологических и классификационных характеристик грунтов, а также по функциональным характеристикам памятников. **Таксоны: участок и подучасток.**

Предлагаемая схема позволяет строить карты инженерно-геологического районирования для территорий, занимаемых локальными ИПТС и проводить типизацию (детальное районирование) участков, на которых располагаются элементарные ИПТС. Целью общего районирования является выделение однотипных структур, для которых можно установить вероятные риски развития негативных инженерно-геологических процессов. Целью детального районирования является выделение участков, для которых будет возможен одинаковый вид управляющих мероприятий для создания установившегося режима функционирования элементарных ИПТС.

Общее инженерно-геологическое районирование территории Кирилло-Белозерского монастыря с оценкой вероятного риска развития негативных ИПТ.

Районирование территории, занимаемой локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, проведено на основании актуализированной карты инженерно-геологических условий (Рис. 31) и схемы инженерно-геологического районирования территории Кирилло-Белозерского монастыря, которая была предложена ранее [77].

Изучение инженерно-геологических условий территории монастыря позволило установить основные черты строения, границы залегания литологических толщ, что отражено на актуализированной инженерно-геологической карте. По данным бурения и зондирования изучено геологическое строение на глубину до 15-25 м, что позволило построить инженерно-геологические разрезы с выделением на них однородных по литологическому составу и физическим характеристикам геологических тел. (Рис. 5.4.1) Изучен наиболее изменяемый компонент инженерно-геологической обстановки – подземные воды, установлена глубина залегания и динамика положения уровня грунтовых вод от поверхности. Установлены природные экзогенные процессы, имеющие развитие на территории: это подтопление, криогенное пучение грунтов и заболачивание. Отмечено, что

гидрогеологические условия оказывают прямое влияние на интенсивность развития процессов заболачивания и криогенного пучения.

В результате работы была построена актуализированная схема инженерно-геологического районирования территории (Рис. 20), сопровождаемая экспликацией (Таблица 23).

В соответствии с геоморфологическими особенностями на территории выделены две области – **I**, холмы и гряды ледниковых образований, **II** – озерно-болотные низины.

Районы выделены по геологическому признаку в соответствии с развитием на глубину 10,0 м определенных стратиграфо-генетических комплексов. На рассматриваемой территории выделяются три **района I-1, I-2 и II-1**. Район I-2 выделен дополнительно относительно ранее предлагаемой схемы районирования по результатам анализа новой информации по шурфам и скважинам. Границы районов проведены по геолого-литологическим границам в соответствии с картой.

Район I-1 - это территория, в основном занимаемая холмами (Успенским и Ивановским), водно-ледникового происхождения (смешанные камы), с хорошей естественной дренированностью. Здесь с поверхности до глубины 15,0 м развиты СГК современных техногенных отложений культурного слоя, верхнечетвертичных отложений проблематичного генезиса, верхнечетвертичных флювиогляциальных отложений, валдайских моренных суглинков.

Район I-2 характеризуется плоско-возвышенным рельефом с хорошей дренированностью и развитием стратиграфо-генетических комплексов современных техногенных отложений, верхнечетвертичных отложений проблематичного генезиса, верхнечетвертичных нерасчлененных озёрно-ледниковых отложений.

Район II-1 занимает прибрежную территорию и участки озёрно-болотной низины Нового города, для которых характерен плоский рельеф с плохой естественной дренированностью, и развитием стратиграфо-генетических комплексов современных техногенных, болотных, озёрно-болотных отложений, подстилаемых озёрно-ледниковыми формированиями.

По гидрогеологическим условиям (глубине залегания уровня грунтовых вод, распространения верховодки и фундаментных вод) выделены **подрайоны**. Выделены следующие подрайоны, обозначенные буквенными индексами: **A** – глубина залегания уровня грунтовых вод 2-5 м от поверхности, **B** - глубина залегания уровня грунтовых вод 2-5 м от поверхности, возможно спорадическое развитие верховодки и фундаментных вод, **B** – глубина залегания УГВ меньше 2,0 м.

Экспликация к общей схеме инженерно-геологического районирования территории Кирилло-Белозерского монастыря

Область	№ района	Район	Подрайон	Основные ЭГП, ИГП	Основные сооружения
I Холмы и гряды ледникового образования	I-1	СГК: - современных техногенных отложений (t1V); - нерасчлененных современных и верхнечетвертичных отложений проблематичного генезиса (rg III-1V); - верхнечетвертичных флювиогляциальных отложений (fIIIvd3); - ледниковых формирований валдайского оледенения (g III vd3)	I- 1-А >2,0 м	Эрозионные склоновые процессы. Влагоперенос из грунта в стены. Изменение прочности древесины, изменение прочности кирпичной кладки. Эволюционное изменение основания: деструкция свай, образование полостей-«стаканов».	Архимадричьи кельи, Ц. Иоанна Предтечи, Ц. Сергия Радонежского.
			I-1-Б >2,0 м, + фундаментные воды, верховодка	Пучение, влагоперенос из грунта в стены. Изменение прочности древесины, изменение прочности кирпичной кладки. Эволюционное изменение основания: деструкция свай, образование полостей-«стаканов».	Комплекс Успенского собора, Ц. Гавриила, колокольня, Трапезная палата
			I-1-В < 2,0 м	Подтопление, пучение, влагоперенос из грунта в стены. Изменение прочности древесины, изменение прочности кирпичной кладки.	Трапезная, Поварня, Казенная палата, Святые ворота, Крепостные стены 16 в.
	I-2	СГК: - современных техногенных отложений (t1V);	I- 2-А >2,0 м	Криогенное пучение	Монашеские кельи, Малые Больничные палаты, Вологодская башня

Область	№ района	Район	Подрайон	Основные ЭГП, ИГП	Основные сооружения
		- нерасчлененных современных и верхнечетвертичных отложений проблематичного генезиса (pr III-1V); - верхнечетвертичных озерно-ледниковых отложений (lg III vd3); - верхнечетвертичных флювиогляциальных отложений (f III vd3); - ледниковых формирований валдайского оледенения (g III vd3).	I-2-Б >2,0 м, + фундаментные воды, верховодка	Криогенное пучение, подтопление	Монашеские кельи, прясло крепостной стены 17 в.
			I-2-В < 2,0 м	Подтопление, пучение. криогенное	Монастырский архив, Кузнечная башня, прясло крепостной стены 17 в.
II Озерно-болотные низины.	II-1	СГК - современных техногенных отложений (t1V); - современных биогенных отложений (b 1V) - современных озерно-болотных отложений (lh1V);	II-1-В < 2,0 м	Подтопление, заболачивание, криогенное пучение	Ц. Преображения, Комплекс Больших Больничных палат, крепостные сооружения 16 в., крепостные стены и башни 17 в., здание училища.

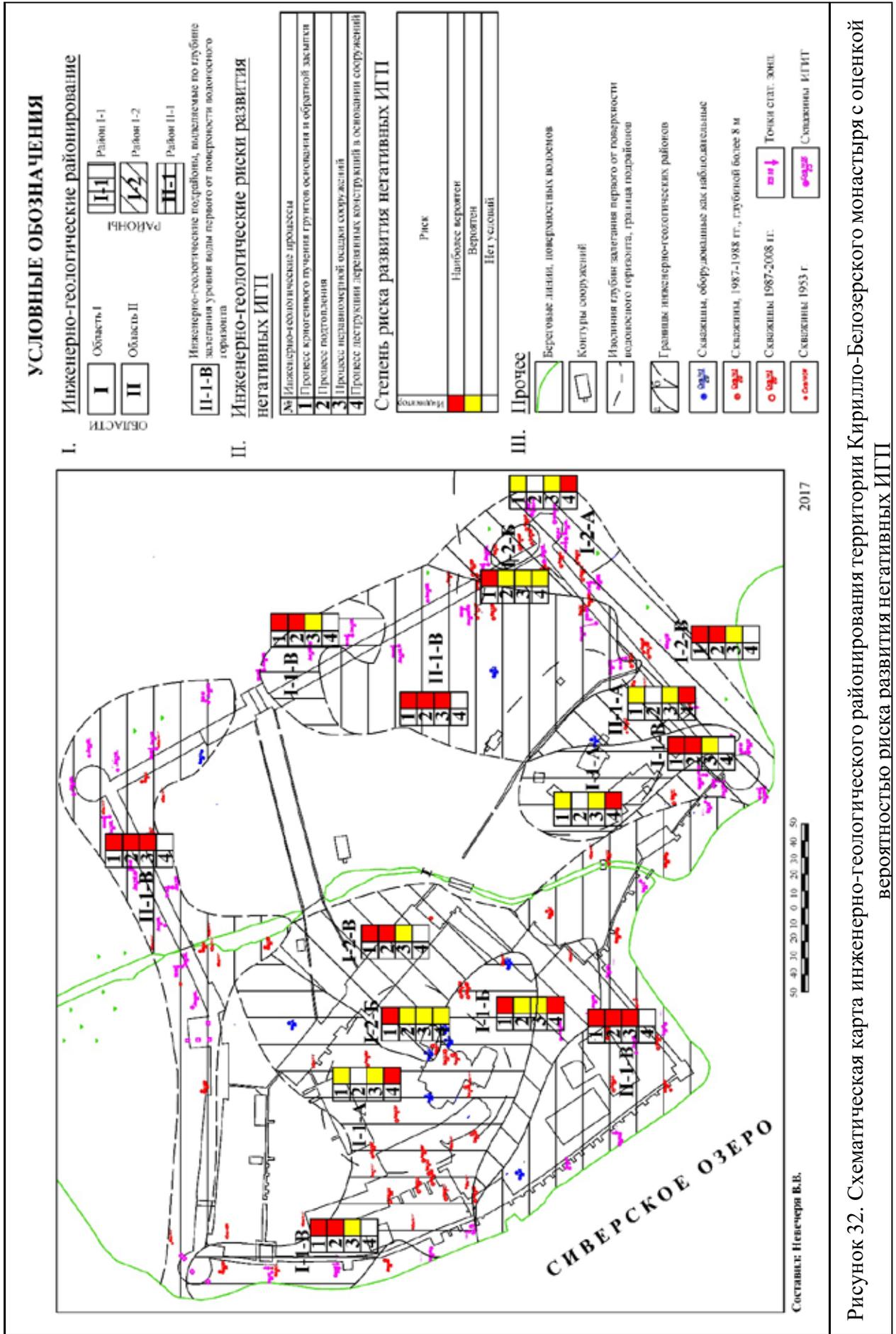


Рисунок 32. Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории Кирилло-Белозерского монастыря с оценкой вероятностью риска развития негативных ИГП

Всего на территории монастыря выделяются 7 подрайонов: **I-1-А, I-1-Б, I-1-В, I-2-А, I-2-Б, I-2-В, II-1-В**. Границы подрайонов проведены по изолинии глубины залегания грунтовых вод 2,0 м.

На основании карты общего инженерно-геологического районирования был проведен качественный анализ риска развития негативных инженерно-геологических процессов, влияющих на состояние локальной ИПТС и входящих в неё элементарных ИПТС.

Выделение в структуре «СВ» инженерно-геологических процессов, оказывающих негативное влияние на состояние сооружений, позволяет качественно оценить вероятность развития этого процесса в выделенных районах – риск развития этих процессов. Качественная оценка вероятности риска может быть проведена с использованием метода цветовой идентификации (Таблица 24).

Таблица 24

Оценка вероятности риска развития негативных инженерно-геологических процессов

Оценка вероятности	Градации вероятности риска развития процесса	Характеристика градаций	Цветовая идентификация
0	Нет риска	Отсутствие условий для развития процесса, отсутствие проявлений процесса	белый
0-1	Риск вероятен	Наличие отдельных условий, отсутствие однозначных проявлений процесса	желтый
1	Риск есть	Наблюдаемые проявления процесса	красный

Отсутствие условий для развития процесса – означает **невозможность** развития данного процесса на выделенном участке, его отсутствие, вероятность развития процесса равна 0.

Наличие отдельных условий для развития процесса, отсутствие однозначных проявлений его развития, делает необходимым выделение градации – **риск** развития процесса **вероятен**. Вероятность развития процесса изменяется в интервале от 0 до 1.

Наблюдаемые проявления процесса означают то, что данный процесс идет, для него есть условия и на данном участке **наблюдается его развитие или, для латентных процессов – развитие наиболее вероятно**. Вероятность развития процесса равна 1.

Инженерно-геологические процессы начинают идти одновременно с инженерной деятельностью человека. Области их развития формируют сферу взаимодействия сооружений с геологической средой [5,36,54,55]. Для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря наибольшее влияние на конструктивную и эксплуатационную устойчивость памятников в настоящее время оказывают четыре процесса: процесс

криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания и обратной засыпки, процесс подтопления, процесс неравномерной осадки сооружений, и процесс эволюционного характера – процесс деструкции деревянных конструкции в основании фундаментов в стадии формирования полостей-«стаканов». Вышеназванные ИГП, проявления которых зафиксированы на территории монастыря пронумерованы, условия их развития, виды проявления и районы и подрайоны развития сведены в таблицу 25.

1.Процесс криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания, грунтов обратной засыпки имеет широкое развитие на территории и является одним из главных процессов, влияющих на устойчивость памятников. Характеристике этого процесса, изучению его влияния на отдельные памятники, изучению условий развития процесса на исторических территориях посвящены многие работы [71,79,116], о его проявлениях на территории монастыря говорится в разделе 3.3.2.

Главными условиями развития процесса криогенного пучения являются: наличие глинистых переувлажненных грунтов в основании сооружений и в обрезах фундамента, неглубокое заложение фундаментов, незначительные нагрузки на основание, особенности температурно-влажностного режима памятника (отсутствие отопления [79]). Поскольку на территории монастыря с поверхности повсеместно развиты грунты культурного слоя преимущественно глинистого состава, а большинство памятников (прежде всего крепостные стены и башни) имеют холодный режим эксплуатации, то, процесс криогенного пучения грунтов оказывает негативное влияние на все памятники, не имеющие отопления. В этих случаях процесс идет постоянно, в течении всего времени существования памятника, с разной степенью интенсивности, которая зависит в первую очередь от погодных особенностей осенне-зимнего периода и степени влажности грунтов.

Проявления процесса отмечаются в подрайонах **I-1-Б, I-1-В, I-2-Б, I-2-В, II-1-В**, где процесс криогенного пучения активно развивается. В подрайонах: **I-1-А, I-2-А**, риск развития процесса вероятен.

Негативные инженерно-геологические процессы на территории КБМ – условия, проявления, участки распространения.

Процесс №	ИГП	Главные условия развития процесса	Проявления ИГП	Районы и подрайоны распространения
1	Процесс криогенного пучения грунтов основания и обратной засыпки	Распространение с поверхности до глубины 3,0 м переувлажненных глинистых грунтов с большим содержанием пылеватых частиц. Неотапливаемый режим эксплуатации памятников	Выпучивание валунов фундаментов из-под стен. Знакопеременные перемещения стен. Отход контрфорсов от стен. Краевые деформации сооружений	I-1, I-2, II-1
2	Процесс подтопления	Высокое положение УГВ (H < 2,0 м)	Переувлажнение конструкций, подсос влаги в стены, формирование высолов, сотовое выветривание кирпичной кладки.	I-1-Б, В, I-2-Б,В, II-1-В
3	Процесс неравномерной осадки сооружений	Развитие «слабых», неравномерно сжимаемых грунтов, обладающих реологическими свойствами, в основании сооружений. Значительная изменчивость литологического состава грунтов основания	Развитие структурных деформаций (трещин) в конструкциях сооружений	I-1, I-2, II-1
4	Процесс формирования полостей «стаканов» в результате деструкции деревянных свай в основании сооружений	Нахождение деревянных конструкций в зоне аэрации, переменный влажностной режим, распространение песчаных и супесчаных грунтов в основании	Полости–стаканы в основании памятников. Конструктивные деформации	I-1-А, Б I-2-А,Б

2.Процесс подтопления территории наблюдается на большей части территории монастыря и определяется положением уровня воды в Сиверском озере, которое входит в верхней бьеф Северо-Двинской гидротехнической системы [167]. Положение уровня воды в Сиверском озере на момент проведения топографической съемки в 2014 г. составило 116,70 м (12.07.2014). Годовая амплитуда колебания уровня верхнего бьефа за 1986-1988 года изменялась от 0,74 м (1986 год) до 1,95 м (1987 год) [168].

Значительная часть территории Кирилло-Белозерского монастыря имеет отметки дневной поверхности в интервале от 117,00 (береговая линия) до 119,00м, то есть является подтопленной. Подтопленность территории вызывает переувлажнение конструкций, формирование высолов, сотовое выветривание кирпичной кладки. Глубина положения уровня грунтовых вод 2 м явилась критерием выделения участков в схеме районирования.

Процесс подтопления отсутствует в подрайонах: **I-1-А, I-2-А**. Риск развития вероятен в подрайонах **I-1-Б, I-2 –Б**. Проявления процесса наблюдаются в подрайонах **I-1-В, I-2-В, II-1-В**, где процесс идет.

3.Процесс неравномерной осадки сооружений является продолжением процесса неравномерного уплотнения грунтов основания в результате передачи нагрузки от сооружения. Процесс является первым и главным инженерно-геологическим процессом, идущим в основании фундаментов. Этот процесс происходит повсеместно под фундаментами сооружения, граница развития этого процесса формирует главную глубинную границу сферы взаимодействия. Неравномерность осадки обуславливают неоднородность основания, изменчивость физико-механических свойств грунтов, присутствие сильно сжимаемых грунтов с реологическими свойствами.

Как известно, для определения границ зоны развития процесса уплотнения необходимо на основании инженерно-геологической информации, знании физико-механических характеристик свойств грунтов составить расчётную схему. Поскольку, в основании стен залегают грунты разного возраста, генезиса, литологического состава, характеризующиеся различными физико-механическими свойствами, то необходимо проводить районирование и выделять участки, которые характеризуются одинаковым набором инженерно-геологических элементов в основании сооружения.

Для участка крепостных стен Нового города, был проведен расчет активной зоны [112,171]. При величине нагрузки равной 150 кПа глубина активной зоны была равна 6,1 м, при величине нагрузке 220 кПа глубина активной зоны составила 12 м. Величина осадки при нагрузке 220 кПа по расчету составила 112 мм.

Применяя сделанный расчёт как аналог, можно сказать, что глубина изучения геологической среды, меньше 10 м является недостаточной, а рассчитанная величина

осадки подтверждает обусловленность развития крупных деформаций конструкций процессом неравномерной осадки, особенно при неоднородности грунтов в основании и присутствии органогенных и сильно сжимаемых грунтов (ИГЭ-4)

Проявлением процесса неравномерной осадки можно считать наличие структурных деформаций (трещины) в конструкциях сооружений.

Распространенность процесса определяет наличие сильно сжимаемых грунтов в основании и изменчивость разреза, а также сложная структура строения сферы взаимодействия. Присутствие в разрезе сильно сжимаемых грунтов характерно для области **II**, где под слоем техногенных формирований залегают сильно сжимаемые грунты современного и нерасчлененного современного и верхнечетвертичного возраста болотного, озерно-болотного генезиса (ИГЭ – 2,3,4).

В подрайонах: **I-1-А, I-1-Б, I-1-В, I-2-А, I-2-Б, I-2-В** процесс развития неравномерной осадки **вероятен**, в подрайоне **II-В** процесс идет.

4. Процесс деструкции деревянных конструкций в стадии формирования полостей-«стаканов». Процесс деструкции в основании фундаментов происходит повсеместно там, где существуют деревянные конструкции – сваи и лежни [26,34,87,89,97]. Процесс является скрытым, латентным. Состояние деревянных конструкций, прежде всего свай, можно определить только при вскрытии фундамента шурфами, или, с меньшей степенью достоверности, геофизическими методами. Сохранность деревянных субстраций [3,26,87] определяется следующими периодами:

1. Период полной сохранности свай – около 100 лет
2. Период разложения оголовков свай от 100 до 150 лет.
3. Период разложения свай на остаточной длине по периметру – от 150 до 200 лет.
4. Период полного разложения свай до состояния тлена и образования открытых полостей – более 200 лет.
5. Период заполнения полостей грунтом и инфлювием – более 100 лет после разложения свай.

По степени сохранности выделяют:

1. Сваи полной сохранности.
2. Сваи с деструктированным оголовком.
3. Сваи, деструктированные по остаточной длине с сохранением внешней структуры и формы.
4. Сваи деструктированные до состояния древесного тлена.
5. Сваи, представляющие собой полости - «стаканы».

В последнем случае происходит, как указывают исследователи [3,26,87]., процесс трансформации свайного основания из элемента фундамента в элемент сферы взаимодействия, ослабленный полостями и таким образом происходит изменение структуры сферы взаимодействия, видоизменение выделенных инженерно-геологических элементов, появляется опасность «схлопывания» полостей с эффектом лавиннообразной деформации конструкции. Таким образом, эта стадия процесса деструкции является наиболее опасной и условия формирования полостей «стаканов» нужно рассматривать отдельно. На территории Кирилло-Белозерского монастыря сваи-полости были вскрыты во время проходки шурфов для изучения фундаментов крепостной стены, на участке прилегающем к Вологодской башне (Фото 36,37) и в основании ц. Кирилла.



Фото 36, 37. Стаканы от сгнивших свай под валунным фундаментом на участке стены прилегающем к Вологодской башне. Красным выделена полость от полностью сгнившей деревянной сваи

Очевидно, что скорость деструкции различна для одновозрастных деревянных конструкций, находящихся в разных инженерно-геологических условиях.

Максимальная скорость деструкции отмечается в случае присутствия в основании песчаных и супесчаных грунтов, находящихся в зоне аэрации – переменного влажностного режима. Результатом процесса является формирование полостей - «стаканов» на месте деревянных свай.

Минимальная скорость деструкции отмечается там, где сваи находятся в глинистых и биогенных грунтах с постоянно повышенной степенью увлажненности, где влажностный режим основания оставался неизменным. В этом случае деструкция идет медленно и сваи многие сотни лет находятся в хорошем состоянии.

Примером разного состояния свайного поля в результате неодинаковой скорости деструкции свай может служить комплекс Успенского собора [110,180].

Во время работ (проходки шурфов) для исследования фундаментов Успенского собора во всех шурфах в основании фундаментов были обнаружены сваи. Возраст памятника (более 500 лет для Успенского собора, более 200 лет для Кирилловской церкви) теоретически не позволял сваям сохраниться, они должны были находиться в состоянии тлена. Однако состояние свай, кроме свай шурфа 79 (Кирилловская церковь), оказалось хорошим, по степени сохранности – сваи полной сохранности. В шурфе 79 в основании фундамента в песках флювиогляциального генезиса вместо сваи была вскрыта открытая полость-«стакан» глубиной 0,2 м.

Таким образом, можно констатировать, что эволюционный процесс деструкции деревянных конструкций в границах комплекса Успенского собора идет с разной скоростью, которая главным образом определяется литологическим составом грунтов основания (вмещающих сваю) и влажностным режимом грунтов.

Процесс деструкции деревянных конструкций в стадии формирования полостей-«стаканов» имеет **наиболее вероятный риск развития** в подрайонах **I-1-А, I-1-Б, I-2-А, вероятный риск** в подрайоне **I-2-Б, риск отсутствует** - в подрайонах, **I-1-В, I-2-В, II-1-В.**

В таблице 26 приведены градации вероятности рисков развития негативных процессов для выделенных подрайонов.

Таблица 26

Вероятности риска развития негативных ИГП для выделенных подрайонов

№ района	Процесс, №		Риск		№ района	Процесс, №		Риск
I-1-А	1		В		I-2А	1		В
	2		нет			2		нет
	3		В			3		В
	4		НВ			4		НВ
II-1 -Б	1		НВ		I-2-Б	1		НВ
	2		В			2		В
	3		В			3		В
	4		НВ			4		В
I-1-В	1		НВ		I-2-В	1		НВ
	2		НВ			2		НВ
	3		В			3		В
	4		нет			4		нет

№ района	Процесс, №		Риск					
II-1-B	1		нв					
	2		нв					
	3		нв					
	4		нет					
Риски								
нв	Наиболее вероятен							
в	Вероятен							
нет	Нет условий							

Цветовая градация вероятности рисков развития негативных инженерно-геологических процессов нанесена на схему районирования (Рис. 32), что дает возможность для каждого выделенного таксона наглядно определить риск развития негативных процессов.

Наиболее благоприятен по развитию негативных процессов (три процесса имеют свои проявления, наиболее вероятны) подрайон **II-1-B**, наиболее неблагоприятны (один процесс наиболее вероятен) - подрайоны **I-1-A, I-2-A, I-2-B**.

4.5. Мониторинг локальной ИПТС

Мониторинг исторической природно-технической системы (ИПТС) – это целенаправленная система наблюдений за отдельными её элементами, а также накопления, получаемой информации и прогнозирования изменений состояния ИПТС с целью разработки управляющих решений по сохранению и поддержанию оптимального режима её функционирования, в том числе и для целей реставрации и реконструкции отдельных её элементов [19,23,27,28,107]. Опыт создания систем мониторинга на многих исторических объектах (Ростовский и Рязанский Кремль, Кирилло-Белозерский музей-заповедник и другие), даёт основание утверждать, что мониторинг должен являться одним из главных элементов для обоснования принятия управляющих решений, нацеленных на долговременное сохранение памятников культурного наследия [32,39,107,115].

Основной задачей мониторинга, как информационной подсистемы системы управления, является контроль за устойчивостью природно-технической системы (ПТС), и за развитием инженерно-геологических процессов, обусловленных различными взаимодействиями между сооружением и грунтами сферы взаимодействия (СВ) [7,9,51,52] то есть, слежение за возмущающими и управляющими взаимодействиями.

Основная цель организации литомониторинга заключается в обеспечении раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов, при

реализации которых существует возможность возникновения экстремальных ситуаций в отслеживаемой системе, с целью их предотвращения или локализации [10,7].

Главная трудность при создании систем мониторинга локальных ИПТС заключается в необходимости учитывать многолетнее или даже многовековое существование систем и их адаптацию за этот период к внешним и внутренним природным и антропогенным переменным взаимодействиям, их латентность. В силу этого обстоятельства, при составлении программы мониторинга для облегчения поставленных задач необходимо опираться на классификационное положение ИПТС, которое учитывает в значительной степени многие из обозначенных особенностей ИПТС.

Для исторических ПТС параметры мониторинга (под которыми понимаются виды, число режимных сетей) должны определяться конкретно для каждого памятника или ансамбля памятников. Система мониторинга включает в себя, как известно, режимные сети, каждая из которых контролирует состояние основных компонентов инженерно-геологических условий, определяющих устойчивость ПТС. Задачу организации каждой режимной сети можно сформулировать следующим образом: найти характеристики сети, позволяющие решать с заданной точностью задачи прогнозирования состояния ПТС и управления ею при минимуме затрат на создание и содержание режимных сетей. Под характеристиками сети понимают пространственные и временные координаты точек наблюдений, а также состав и периодичность наблюдений.

На сегодняшний день, создание полноценной системы мониторинга локальных ИПТС, отвечающей выше обозначенным требованиям – доказанная невозможность. Существующие режимные сети наиболее проблемных ансамблей являются «фрагментами» необходимых систем мониторинга, однако даже и в таком усеченном виде, они позволяют получить информацию о процессах, влияющих на устойчивость ИПТС.

4.5.1. Основные положения мониторинга локальных исторических природно-технических систем

В общий состав мониторинга природно-технической системы входит мониторинг окружающей среды, литомониторинг и мониторинг состояния памятников. Литомониторинг является неотъемлемой составной частью системы мониторинга «памятники - окружающая среда» [32,50,39,80].

Для удобства проектирования системы мониторинга окружающую среду принято делить на две основные подсистемы:

- внешняя (наземная окружающая среда);
- подземная или геологическая среда.

Два этих полупространства взаимодействуют между собой через разделяющую их границу – поверхность земли. В силу своей природы граница между двумя этими полупространствами допускает постоянный тепло-массообмен, кроме участков, где существуют искусственные (или, очень редко, естественные) барьеры.

В число сфер, формирующих внешнее полупространство, входят:

- атмосфера;
- биосфера;
- поверхностная гидросфера;
- искусственная сфера (наземные части зданий и сооружений).

Внутреннюю, геологическую сферу формируют:

- литосфера;
- подземная гидросфера;
- искусственная сфера (подземные коммуникации и подземные части зданий и сооружений).

При сравнении вышеназванных сфер можно отметить их характерные черты как объектов мониторинга.

Внешняя окружающая среда: относительно простое визуальное наблюдение, прямой доступ, легкий контроль, работа в обозначенной области по локализации загрязнений может выполняться без особых затруднений.

Внутренняя геологическая среда: нет возможности визуального осмотра; затрудненный (через отбор образцов) доступ, ограниченный отдельными вертикальными сечениями (скважины, шурфы, колодцы); сложное строение, в связи с большой неоднородностью и изменчивостью свойств и состава грунтов; затруднена работа по локализации процессов и очагов загрязнений.

Таким образом именно организация геологического (в широком понимании) мониторинга является наиболее трудоёмкой и сложной по реализации задачей при создании подобных систем [80,114].

Для локальных архитектурных ИПТС, характеризуемых сложным строением, большими площадными размерами, многообразием охраняемых объектов различного возраста, назначения, общая схема мониторинга может выглядеть следующим образом (Рис.33).

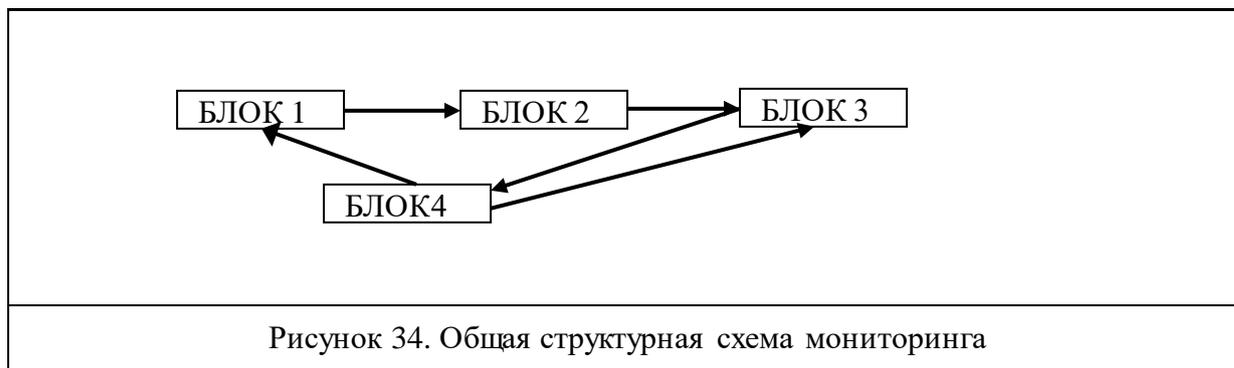


Главным объектом мониторинга локальной ИПТС являются охраняемые объекты – искусственные подсистемы элементарных ИПТС – памятники истории и архитектуры, природно-трансформированные объекты, культурный слой. Устойчивость охраняемых объектов определяется характером взаимодействия с внешней окружающей средой и внутренней геологической средой. Изменения внешней окружающей среды влияют на режим эксплуатации и функционирования как памятников архитектуры, так и всей исторической территории. Поэтому наблюдения за климатическими параметрами, температурно-влажностным режимом интерьеров, поверхностной гидросферой, изменениями ландшафта, биотой необходимы в структуре мониторинга.

Литомониторинг обеспечивает наблюдения за параметрами грунтов, гидрогеологическим режимом территории, параметрами экзогенных геологических процессов, оказывающих влияние на устойчивость исторических объектов.

Мониторинг за устойчивостью искусственных подсистем элементарных ИПТС (памятников, природно-трансформированных объектов, культурного слоя) проводится в соответствии с их особенностями. Основные наблюдения за подсистемой «Памятники» проводятся по геодезическим наблюдениям положений осадочных марок.

Любая система мониторинга имеет в своем составе четыре основных взаимосвязанных и взаимообусловленных структурных блока. Общая структурная схема мониторинга может быть представлена в следующем виде (рис.34) [114].



Рассмотрим функции каждого из выделенных блоков системы мониторинга.

Блок 1. В его состав входит ряд режимных сетей, обеспечивающих получение информации об изменении наблюдаемых параметров во времени. Основными режимными сетями при мониторинге локальной ИПТС являются следующие:

- Пункты наблюдения за температурно-влажностным режимом в интерьерах и внешними климатическими параметрами (температура воздуха, влажность, осадки).
- Геодезическая сеть для слежения за деформациями сооружений и грунтового основания.
- Гидрогеологическая режимная сеть для слежения за уровнем грунтовых вод, их химическим составом, направлением потока грунтовых вод.
- Гидрологическая режимная сеть для наблюдений за характером загрязнений поверхностных вод (реки, озера, моря и др.).
- Режимная сеть для слежения за интенсивностью развития экзогенных геологических процессов, влияющих на устойчивость памятников.

Блок 2. Представляет собой систему для организации информации. Информация, поступающая сюда из блока № 1 организуется, хранится, накапливается и обрабатывается с помощью соответствующего пакета программ. Массивы данных, поставляемых блоком № 1 со временем все возрастают и возрастают в объёме, поэтому лишь автоматизированная система даёт возможность эффективно работать с информацией в соответствие с критериями оптимизации в зависимости от природы данных и характера их дальнейшего использования. Наиболее приемлемый путь решений вышеперечисленных задач – создание специального банка данных.

Банк данных должен подготовить информацию для передачи в блок 3 таким образом, чтобы она была удобной для составления прогноза вероятного поведения отслеживаемой системы в физическом времени.

Блок 3. В этом блоке содержится пакет программ, обеспечивающих периодическое создание и корректировку прогнозных математических моделей для описания процессов, вовлеченных в сферу мониторинга. Этот пакет программ, базирующихся на предварительно разработанных или соответствующим образом адаптированных алгоритмах, должен обеспечивать возможность раннего предупреждения возникновения экстремальных ситуаций.

Блок 4. Этот блок призван выдавать управляющие рекомендации по обеспечению надежной долговременной эксплуатации памятников и её экологической безопасности.

Эффективность принятых управляющих рекомендаций контролируется блоками 1 и 2. Прогнозные модели перманентно корректируются с учетом вновь поступающей информации.

Таким образом, основная цель мониторинга заключается в обеспечении предупреждения развития экстремальных ситуаций в отслеживаемой системе, с целью их предотвращения или локализации [107,114].

В процессе реализации системы мониторинга необходимо решить следующие задачи:

- Создание системы пунктов получения информации – режимных сетей, обеспечивающих слежение за изменением во времени параметров, определяющих состояние природно-технической системы «Памятники - сфера взаимодействия».
- Создание системы накопления и обработки информации, получаемой в результате функционирования режимных сетей мониторинга.
- Организация блока, ответственного за выдачу прогнозных моделей.

Разработка сценариев для принятия управляющих рекомендаций по обеспечению долговременного функционирования памятников.

Ниже рассматриваются результаты наблюдений по режимным сетям мониторинга, существовавшего в 1988-2009 гг. в Кирилло-Белозерском монастыре.

4.5.2. Режимные сети мониторинга локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря

Результатом проведенных исследований 1987-1990 гг. была характеристика инженерно-геологического строения территории Кирилло-Белозерского монастыря. В 1988 году под руководством Е.М. Пашкина и В.Л. Невечери на территории монастыря были заложены сети режимных наблюдений, представляющих собой режимную систему мониторинга ИПТС [78,80,172]. Они включали в себя режимные сети для наблюдения за инженерно-геологическими процессами и устойчивостью сооружений.

Основные виды режимных сетей, заложенных первоначально и сохранившиеся к 2007 году, приведены в таблице 27.

Виды режимных сетей и количество пунктов наблюдений на территории Кирилло-Белозерского монастыря

	Виды режимных сетей	количество пунктов получения информации	
		1988	2007
I	Режимная сеть для наблюдений за изменением уровня подземных вод		
	Скважины:		
	· на 1-ый водоносный горизонт	12	4/3
	· техногенный водоносный горизонт	-	3
	Колодцы	2	-
	Водопосты	2	-
II	Режимная сеть для наблюдения за процессом криогенного пучения		
	мерзлотомеры	4	5
	пучиномерные площадки	2	-
	марки-пучиномеры	14	4
III	Режимная сеть для наблюдений за деформациями памятников		
	стенные марки на стенах · Успенского собора; · Комплекса Трапезной палаты, ц. Введения · Больших Больничных палат	26	25 17
	валунные марки у крепостных стен Нового города	18 45	- -

Размещение пунктов режимных наблюдений в 2007 году приведено на рисунке 35.

Как видно из таблицы, с течением времени произошло значительное сокращение пунктов режимных наблюдений, что связано в основном, с неопределенностью положения системы режимных наблюдений в общей структуре музеев-заповедников. Следует отметить, что сложный период времени 1990-х годов, недостаток финансирования, не позволил осуществлять функционирование системы мониторинга в полном объеме, но тем не менее, благодаря настойчивости В.Л. Невечери, режимные наблюдения продолжались, а в некоторых случаях были расширены. Результаты наблюдений обрабатывались сотрудниками кафедры инженерной геологии под руководством В.В. Пендина и приводились в ежегодных отчетах [173,181]. С 2009 года режимные наблюдения по созданным сетям мониторинга на территории монастыря не проводятся.



4.5.3. Анализ результатов наблюдений за уровнем подземных вод

Систематические наблюдения за изменением положения уровня подземных вод начались в августе 1987 году с установки 4-х гидрогеологических скважин на территории Успенского монастыря [167]. В 1988 году режимная сеть была расширена до 12 скважин. Расположение скважин определялось площадным принципом размещения с целью наиболее равномерного охвата всей территории монастыря, а также в непосредственной близости от отдельных памятников. Наблюдалось изменение положения уровня грунтовых вод первого от поверхности водоносного горизонта. Все скважины были оборудованы сетчатыми фильтрами с диаметром обсадных труб 108 и 86 мм. Также в 1988 году были оборудованы два водопоста для наблюдений за положением уровня воды в Сиверском озере у Белозерской башни и уровня воды в р.Свягге. Для наблюдений за уровнем фундаментных вод были сооружены два колодезя у ц. Епифания (1988) и у Больших Больничных палат (1990). В 1993 году во время сооружения системы вертикального дренажа около комплекса Успенского собора было пробурено 4 водоприёмных скважины, которые впоследствии стали функционировать как режимные.

В 2007 году реально функционировали 4 скважины на 1-ый от поверхности водоносный горизонт (№ 3, 4, 25, 27) и 3 скважины у северной и восточной стен комплекса Успенского собора на техногенный водоносный горизонт. Остальные скважины находились в нерабочем состоянии или были ликвидированы. Замеры по скважинам осуществлялись с разной регулярностью. Частота замеров по годам приведена в таблице 28:

Таблица 28

Частота замеров по гидрогеологическим скважинам Кирилло-Белозерского монастыря по годам

Год	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Число замеров	33	26	24	4	1	3	6
Год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Число замеров	36	10	2	3	2	7	8
Год	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Число замеров	9	30	34	36	32	16	-

Анализируя таблицу следует отметить, что максимальное число замеров пришлось на 1988-1990 г.г., 1995 г., 2003-2007 г.г. на периоды устойчивого финансирования работ, когда появлялась возможность проведения замеров сотрудниками музея через определенные интервалы времени, в зимний период – раз в месяц, в остальное время раз в пять дней. Разовые замеры осуществлялись сотрудниками кафедры во время командировок. Замеры по водопостам были прекращены с начала 90-х годов, в 2008 году также закончились наблюдения за уровнем грунтовых вод по скважинам.

По результатам наблюдений были установлены основные режимобразующие факторы, определяющие состояние водоносных горизонтов на территории монастыря, ими являются *климатические условия и положение уровня Сиверского озера*. Динамика положения уровня Сиверского озера определяется как климатическими особенностями года, так и работой Северо-Двинской гидротехнической системы.

Гидрогеологические условия прибрежной части территории, прилегающей к Сиверскому озеру, характеризуются постоянным водоносным горизонтом, гидравлически связанным с озером, залегающим в грунтах техногенного и озерно-ледникового генезиса на глубинах от 0,47 м от поверхности земли. Зафиксированная максимальная амплитуда колебания уровня на этой территории в течении года составила 1,92 м (2002 г.). В последнее десятилетие (1999-2008 гг.) произошло заметное изменение уровенного режима Сиверского озера, что выразилось в низком положении осенне-зимнего уровня озера, а следовательно, и грунтовых вод в прибрежной части территории, а также увеличении амплитуды колебания уровня в течении года.

Водоносный горизонт подземных вод, заключенный в песках флювиогляциального генезиса, вскрывается на Успенском и Ивановском холмах скважинами 5 и 26 на глубинах 5- 8 м. Колебания уровня грунтовых вод в этих скважинах коррелируют с колебаниями уровня Сиверского озера.

Значения коэффициентов корреляции, просчитанные между значениями положения уровня в разных скважинах представлены в таблице 29.

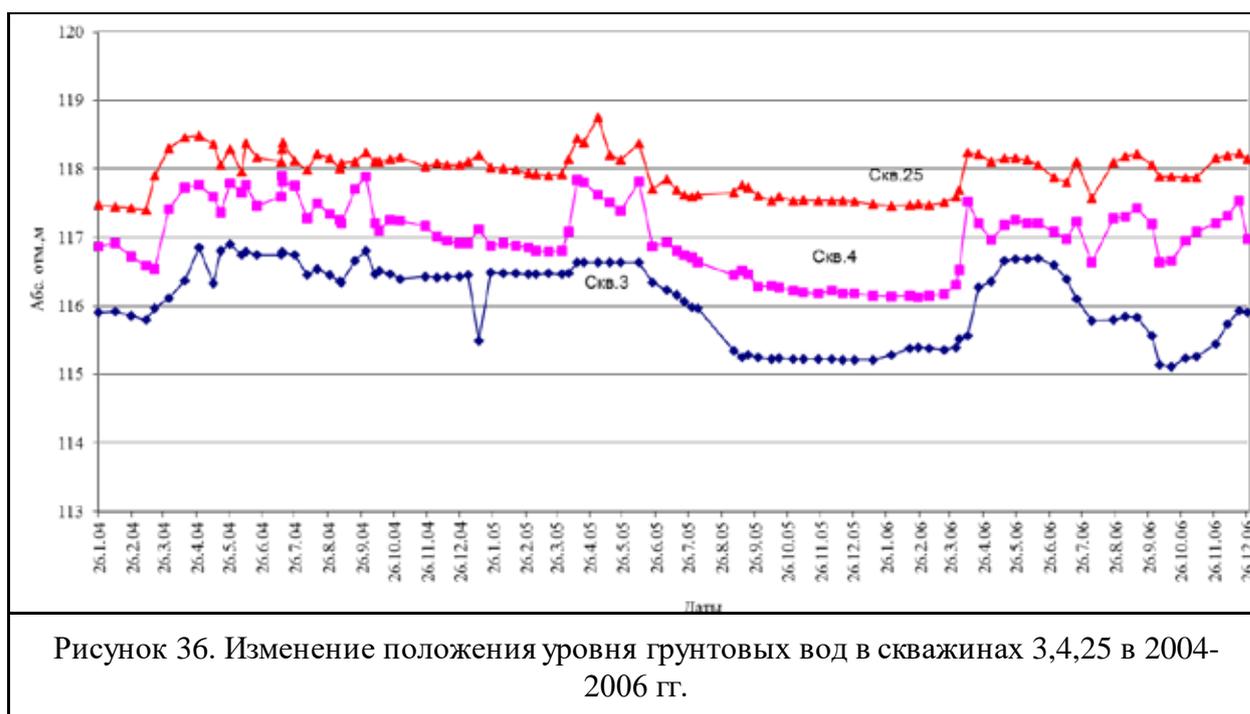
Таблица 29

Корреляционная таблица между значениями положения УГВ в скважинах 3,4,25.

	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 25
Скв. 3	1		
Скв.4	0,84	1	
Скв. 25	0,72	0,86	1

Высокие значения коэффициента корреляции подтверждают единство режимоформирующих факторов при изменении положения УГВ во всех скважинах.

По результатам наблюдений, проводимых по гидрогеологическим скважинам в 2003-2007 годах построены графики изменения УГВ (рис.36)



Для анализа данных многолетних замеров были составлены сводные таблицы характерных уровней воды по скважинам 3, 4, 25. Характерными уровнями в гидрологии являются: а) высшие (весеннего ледохода и др. периодов); б) низшие уровни [63]. В таблицах приводятся высшие (максимальные) и низшие (минимальные) значения абсолютных отметок положения уровня грунтовых вод для разных периодов года, (зима /I-V/, половодье/IV-V/, летне-осенний /VI-X/ и осенне-зимний период /XI-XII/), а также

максимальная годовая амплитуда колебания уровня. К сожалению, частота и периодичность замеров по годам была различной, что не дает возможности получить достоверную картину изменения положения уровня грунтовых вод по годам и в течении года.

На основании проведенной обработки построены графики изменения максимальных и минимальных значений уровня грунтовых вод по скважинам 3 и 4 по годам (Рис. 37). Полученные данные наблюдений позволяют утверждать, что в период с 1987 по 2007 гг. изменился гидрогеологический режим территории, что связано с режимом работы Северо-Двинской гидротехнической системы.

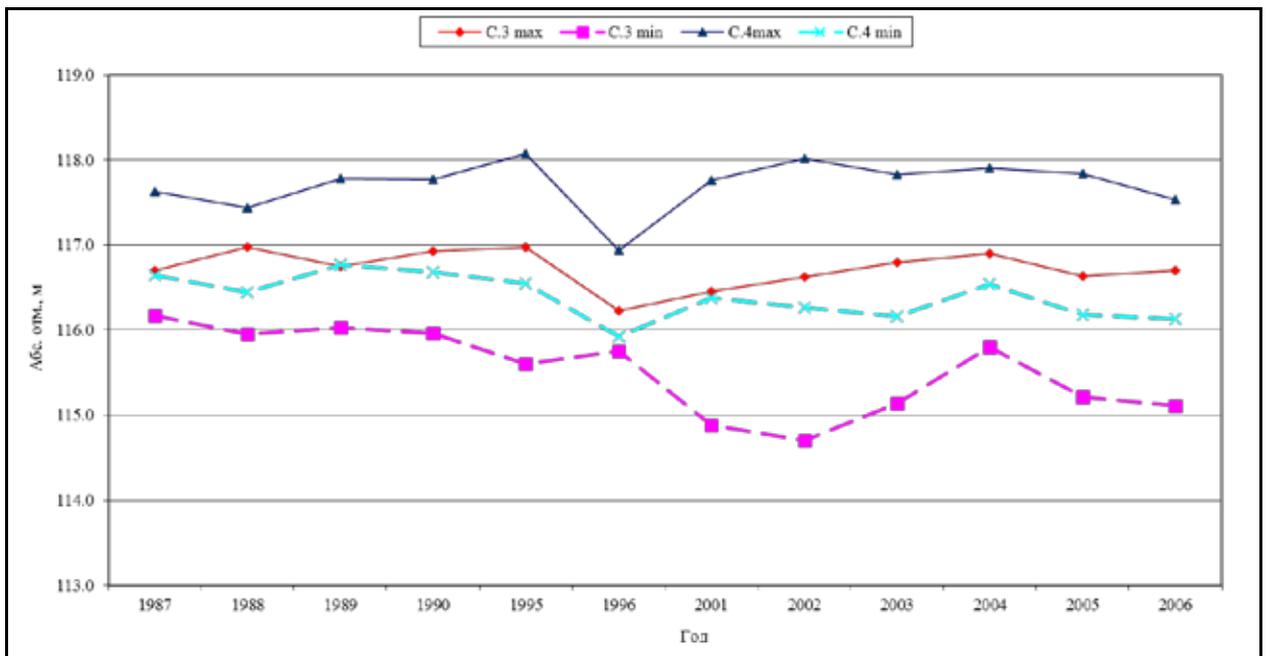


Рисунок 37. Изменение максимальных и минимальных значений положения УГВ за период с 1987 по 2006 г по скважинам 3 и 4

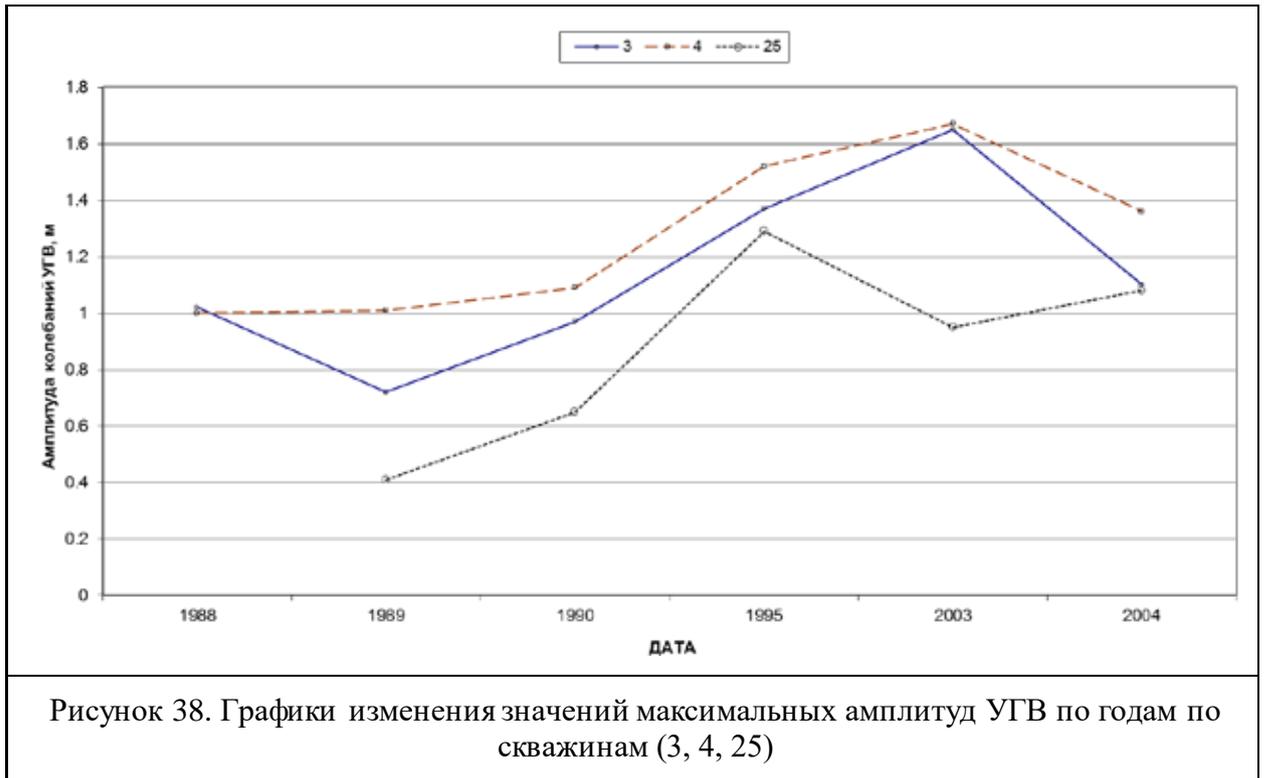
Осенне-зимние и зимние периоды в 1987-1990 гг. характеризовались высоким положением уровня воды в системе, и соответственно, высоким положением уровня в скважине 3 на отметках от 115,97 до 116,7 м. В период 2000-х годов низкое положение уровня Сиверского озера определяло и низкое положение УГВ на отметках от 114,7 до 115,93 м. Разница в положении уровня по этим временным интервалам составила 0,77-1,27 м.

Положение уровня во время весенних паводков в 80-х и 2000-х гг. примерно совпадает, однако, максимальная отметка 116,97 м была отмечена 6 мая 1988 г. В 80-х годах продолжительность паводковых сезонов была длиннее, чем в начале 2000-х годов.

Летне-осенний период в 80-х годах характеризовался высоким положением уровня Сиверского озера и высоким положением уровня грунтовых вод в скважине, который не опускался ниже 116,03 м. С начала 90-х изменения уровня в этот период времени стали

более значительными. В 2002, 2003 гг. уровень в скважине опускался до отметок 114,7 – 115,1 м, а максимально высокое положение было отмечено 30 сентября 2004 – 116,81 м. В 2004 г. с начала июня и до конца июля уровень в скважине держался на отметках 116,74–116,79 м, что хорошо видно на графике изменения уровня воды в скважине 3 (рис. 38).

Амплитуда колебания уровня в годовом цикле в 2000-х годах значительно возросла, её максимальное значение составило 1,62 м в 2003 г, 1,60 м в 2006, по сравнению с 0,72 м в 1989 г, в 1988 -1,03 м (рис. 37).



Анализ изменения положения УГВ по скважинам показал значительное изменение режима грунтовых вод по сравнению с 80-ми годами. Установлено следующее:

- значительное различие в значениях характерных уровней в 1988-1990 гг. с одной стороны, и в 1995, 1999, 2003, 2005 годах с другой;
- значительный рост значений максимальной амплитуды колебания уровня по скважинам с начала 90-х годов - от 0,72 м в 1989 г. до 1,62 м в 2002-2006 гг.
- снижение уровня минимальных значений положения УГВ в 2000-х годах по сравнению с концом 80-х (от 115,93 м до 114,7 м);
- значительно более низкое положение УГВ в осенне-зимний период в последние годы, чем в восьмидесятые.

Замеры по гидрогеологическим скважинам позволили оценить эффективность проведения работ по реконструкции крепостных рвов в 1993 году и работе вертикального дренажа около Успенского собора (1995 г.).

Скважина № 16, установленная в непосредственной близости от Вологодской башни, была оборудована для наблюдений за изменениями положения уровня грунтовых вод. Уровень грунтовых вод находился на отметках от 118,4 м (3,2 м от поверхности) в зимнюю межень до 119,56 м (2,04 м) в весенний паводок. Наблюдения проводились с 1988 по 1995 год. В результате работ, проведённых по реконструкции рвов, понизился базис дренирования, улучшились условия для подземного стока, и уровень воды в скважине 16 в меженный период перестал фиксироваться – стал ниже водоприёмной части скважины. В настоящее время скважина ликвидирована.

Техногенный водоносный горизонт, заключенный в валунных фундаментах и грунтах обратной засыпки комплекса Успенского собора, оказывал значительное влияние на увлажненность грунтов и интенсивность развития криогенного пучения. Динамика положения уровня полностью определяется атмосферными осадками. Максимальный уровень фиксируется во время интенсивных дождей. Замеры по скважинам показали неэффективность работы вертикального дренажа у Северной паперти и алтарной части Успенского собора и его удовлетворительную работу у ц. Епифания.

Наблюдения по гидрогеологическим скважинам показали, что для территории Кирилло-Белозерского монастыря при значительной сложности гидрогеологического строения имеющихся наблюдательных скважин недостаточно для составления гидрогеологической модели территории. Недостаточность наблюдательной гидрогеологической сети, нерегулярность замеров не дали возможности однозначно охарактеризовать режим подземных вод для разных участков территории, его динамику, а, значит, не охарактеризован и влажностной режим грунтов основания. Реконструкция сети гидрогеологических наблюдательных скважин необходима, так как именно изменение положения уровня грунтовых вод характеризует эффективность проводимых планировочных, дренажных и реставрационных работ.

4.5.4. Наблюдения за процессом криогенного пучения грунтов слоя сезонного промерзания

Процесс криогенного пучения грунтов оказывает значительное влияние на устойчивость памятников монастыря. Для изучения условий процесса, его характеристик, влияния на устойчивость сооружений в соответствии с «Методическими рекомендациями по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов» [65] и опытом работ [80,107,130]. на территории храмовых комплексов нужно устраивать пучиномерные площадки, устанавливать одиночные пучиномерные марки, мерзлотомеры, снегомерные рейки, проводить снегомерную съёмку, изучать термовлажностной режим горных пород в основании сооружений, а также определять устойчивость конструкций.

Стационарные наблюдения рекомендуется проводить в течении 3-5 лет, так как интенсивность криогенного пучения для слоя сезонного промерзания-оттаивания изменяется по годам.

На территории Кирилло-Белозерского монастыря проводились наблюдения:

- за высотой и характером распределения снежного покрова;
- глубиной сезонного промерзания грунтов;
- за интенсивностью развития процесса пучения по маркам пучиномерам.

Для определения высоты и характера распределения снежного покрова проводились снегомерные съемки территории в 1989, 1990, 1995, 2001, 2003, 2004, 2005 гг.

Распределение снежного покрова и его высота рассматривается с позиций влияния этих факторов на развитие процесса криогенного пучения, опасного для памятников с холодным режимом эксплуатации, и количества дополнительной влаги, попадающей в фундаменты памятников после таяния.

Снегомерная съемка проводилась из года в год по профилям, проложенным по направлениям наибольшей изменчивости мощности снежного покрова. Замеры осуществлялись через 5 м.

Многолетние наблюдения за распределением и высотой снежного покрова показали [80,116], что распределение снега на территории носит всё более и более техногенный, управляемый характер. Возрастающая посещаемость музея-заповедника в зимнее время, проведение городских и фольклорных мероприятий, зимних праздников, сделали необходимым проведение расчисток, уборки снега с территории. В основном эти мероприятия не могут оказывать влияние на устойчивость сооружений. Повлиять на устойчивость памятников могут лишь расчистки, проводящиеся в непосредственной близости от памятников, к ним относятся зоны уборки снега, проводимые с западной и южной стороны комплекса Успенского собора, расчистки, проводимые с южной стороны прясел крепостных стен Нового города.

По многолетним данным [69], снежный покров в Кириллове на открытых площадках устанавливается как правило во II-III декадах ноября, сходит снег в III декаде апреля. Держится снежный покров в среднем 161 день.

Наибольшая высота снежного покрова по многолетним наблюдениям устанавливается в феврале-марте, достигая в среднем 62,4-65,1 см. Снегомерные съемки на территории музея-заповедника проводились именно в этот период, поэтому можно с большой вероятностью считать, что замеры проводились в период максимальной высоты снежного покрова.

Анализ характера распределения снежного покрова на территории за 2003-2005 гг., основанный на картах-схемах снегомерных съемок (Рис.39) [181], показал, что характер распределения снежного покрова, конфигурация зон расчисток на территории Успенского монастыря имеет стабильный, устоявшийся характер **установлено, что данные средних и максимальных величин высоты снега в 2005 году были максимальными за все время замеров.** Для центра Успенского монастыря они составляли 73,3 см, для приозёрной части 85 см, что почти в два раза больше чем в 2001 и 2004 годах.



Характер распределения снега отличается следующими особенностями:

- наблюдаются участки повышенной высоты снежного покрова вдоль внутренней стороны крепостной стены на расстоянии 5-10 м от неё и на участках вдоль берега Сиверского озера;
- наблюдаются участки территории, оголенные от снега, которые приурочены к внешним стенам Белозерской, Свиточной, Кузнечной башен;

- с внутренней стороны крепостных стен, под внутренними арками не происходит формирования снежного покрова, что приводит к неравномерному промерзанию грунта с внешней и внутренней стороны стены;
- на территории Нового города размеры расчищаемой площади и её контуры зависят от проводимых праздничных мероприятий и от масштаба ремонтно-реставрационных работ, выполняемых в зимнее время.

Распределение снежного покрова на территории музея-заповедника в настоящее время носит техногенный характер и зоны расчисток могут изменяться. В 2005 году, а затем и в последующие годы значительно увеличилась зона расчисток снега на территории Нового города, на участках, примыкающих к Вологодской и Московской башням, что связано с проведением зимних праздников на территории монастыря.

Интенсивность развития процесса пучения изучалась с помощью инструментальных замеров на пучиномерных площадках и по маркам-пучиномерам. На территории монастыря под руководством В.Л. Невечери были устроены две пучиномерные площадки. Пучиномерная площадка №1 была оборудована с восточной стороны Успенского собора и состояла из 3 рядов марок-пучиномеров, расстояние между рядами составляло 5 м, в каждом ряду по 7 марок, расстояние между которыми составляет 2,5 м. Площадка №2 была расположена на территории Нового города, состояла из трёх рядов марок, расстояние между рядами 5,0 м, расстояние между марками в первом ряду 2,5 м во втором и третьем по 5,0 м, всего было установлено 50 марок. На площадках были установлены снегомерные рейки и 3 мерзлотомера.

Характер пучения грунтов у стен памятников изучался путем нивелирования отдельных марок-пучиномеров, установленных напротив ственных марок на расстоянии 1,0-1,5 м от стены. Всего было установлено 44 марок-пучиномеров около Успенского собора, комплекса Больших Больничных палат, ц. Введения с трапезной.

В результате измерения по пучиномерным площадкам были установлены средние значения интенсивности пучения, которые составили для площадки №1 – 5%, для площадки №2 – 4%, что позволило отнести эти площадки к участкам с весьма интенсивным проявлением криогенного пучения.

В настоящее время пучиномерные площадки и марки-пучиномеры ликвидированы.

Для изучения глубины и характера промерзания грунтов внутри холодных памятников были установлены мерзлотомеры в помещениях «холодных» памятников (Успенский собор, ц. Епифания, коморы крепостных стен Нового города и др.), и на открытой поверхности. в Успенском соборе и других памятниках (Таблица 30).

Периодичность проведения замеров определялась режимом процесса. Максимальная глубина промерзания фиксируется в конце марта, в это время и проводился замер по мерзлотомерам, установленным в интерьерах памятников.

Таблица 30

Мерзлотомеры, установленные на территории монастыря

№ мерзлотомера	Место установки	Год установки/ год ликвидации
1	Успенский собор внутри	1988/2009
2	Успенский собор снаружи	1989/2009
3	Ниша крепостной стены Нового города у внешней стены	1989
4	Ниша крепостной стены Нового города в центре ниши	1990/1997
5	Церковь Преображения	1990/2009
6	Кузнечная башня	1990/2007
7	Вологодская башня	1990
8	Большие Больничные палаты правый мерзлотомер	1995
9	Большие Больничные палаты левый мерзлотомер	1995
10	Крепостная стена у Свиточной башни	1995/1999
11	Церковь Епифания	1996/2009
12	Пучиномерная площадка Нового города	1988/1993
13	Пучиномерная площадка у Успенского собора	1988/1990
14	Внешняя стена прясла стены у камеры	1988/1991
15	Внутренняя стена прясла крепостной стены у камеры	1988/1991

Слежение за глубиной промерзания на территории монастыря, в том числе внутри холодных памятников, дало возможность установить динамику процесса промерзания при разных климатических условиях. Графики изменения глубины промерзания по годам приведены для мерзлотомеров, установленных в Успенском соборе и коморе крепостной стены, показаны на (рис. 40). Максимальная глубина промерзания была зафиксирована в зимний период 1995-1996 гг. В коморе крепостной стены она составила 190 см, в Успенском соборе 120 см, а на открытой поверхности под снежным покровом глубина промерзания не превысила 39 см.

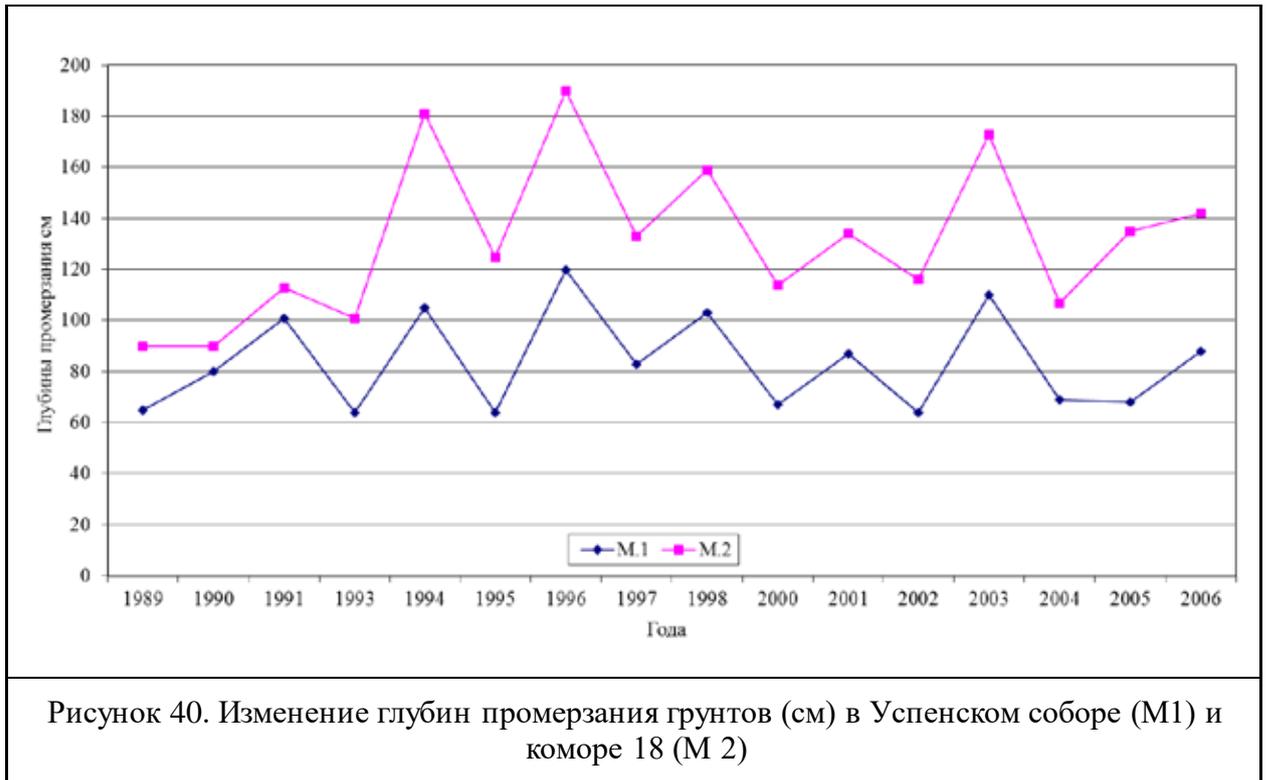


Рисунок 40. Изменение глубин промерзания грунтов (см) в Успенском соборе (М1) и коморе 18 (М 2)

Величину глубины промерзания грунтов в первую очередь определяет температурный характер зимнего периода, поэтому, повышение среднегодовых температур в последние годы, привело к уменьшению глубин промерзания относительно прошлых лет. Так, глубина промерзания под снежным покровом на территории монастыря ни разу за время наблюдений не превысила 60 см. На тех участках, где высота снежного покрова достигает 60-80 см в тёплые зимние сезоны (1989-1990 гг., 1996-1997 гг.) промерзания грунта не отмечалось.

Проведенные наблюдения позволили установить диапазон глубин реального промерзания грунтов в холодных сооружениях разного назначения и на территории. Установлено, что глубины промерзания различаются у памятников с «холодным» режимом эксплуатации, имеющих разные конструкции, внутренний объём и особенности режима проветривания. Мерзлотомер, установленный в ц. Епифания (небольшой по объёму непрветриваемый бесстолпный храм, используемый как складское помещение), постоянно показывал величину промерзания в зимние периоды времени больше 80 см. Мерзлотомер, установленный в алтарной апсиде Успенского собора (режим проветривания соблюдается строго), показывал изменение глубин промерзания от 64 до 120 см.

Максимальная глубина промерзания внутри холодных помещений была зафиксирована в зимний период 1995-1996 гг. в коморе крепостной стены Нового города. Величина промерзания составила 190 см (при среднем многолетнем значении 130,8 см). Учитывая, что высота валунных фундаментов под сооружениями XVI-XVII вв. в Кирилло-

Белозерском монастыре в среднем составляет 120 см, можно сделать вывод о развитии в основании фундаментов некоторых памятников не только касательных, но и нормальных сил морозного пучения.

Глубину промерзания грунтов на прибрежном участке территории монастыря в основном определяет предзимний уровенный режим Сиверского озера и связанный с ним уровень грунтовых вод. При высоком предзимнем положении уровня грунтовых вод ($\leq 1,0$ м от поверхности) промерзания грунтов не наблюдается.

Таким образом, установлено, что глубина сезонного промерзания изменяется в значительных пределах и зависит от климатических условий и мощности снежного покрова. Установлено, что у стен южной, юго-восточной и частично восточной экспозиции образуются зоны выдувания, где промерзание достигает максимальной величины, у стен других экспозиций снежный покров достигает значительной мощности и вплотную примыкает к памятникам и промерзание грунтов на этих участках невелико, что приводит к весьма неравномерному пучению грунтов и выпучиванию разных частей сооружения.

Анализ динамики оттаивания грунта в основании разных памятников, (которую особенно хорошо иллюстрируют наблюдения в зимний период 2005-2006 гг., когда было проведено 9 циклов замеров по мерзлотомерам) показывает вероятность существования перелетков (мерзлые грунты в течение нескольких лет) в грунтах при определенных условиях (низкие сезонные температуры, отсутствие проветривания помещений в летний период), которые несомненно встречались ранее.

Необходимо отметить, что процесс промерзания в зимние периоды 2005-2006 г., 2006-2007 гг., 2007-2008 гг. не был характерным, поскольку климатические условия зимних периодов последних лет также являются аномальными. Высокие суточные температуры, незначительные глубины промерзания приводят к слабой интенсивности развития процесса пучения.

Таким образом, слежение за процессом криогенного пучения позволило установить широту и интенсивность его развития, значительное влияние на устойчивость памятников.

В настоящее время утрачено большинство мерзлотомеров. Возобновление режимных наблюдений требует восстановления и расширения режимных сетей, а также проведения дополнительных термометрических наблюдений за температурным режимом грунтов основания.

4.5.5. Наблюдения за деформациями памятников

Изучение качественных характеристик процессов деформации памятников проводилось в 1987 году с помощью цементных и гипсовых маяков, установленных на

трещины в конструкциях памятников [167]. Поведение маяков – разрыв в первые три месяца после установки, позволило сделать заключение о неустановившемся режиме функционирования памятников. Для получения количественных характеристик процесса деформации памятников, определения его вертикальной составляющей проводились геодезические наблюдения за положением стенных марок, установленных на стенах памятников.

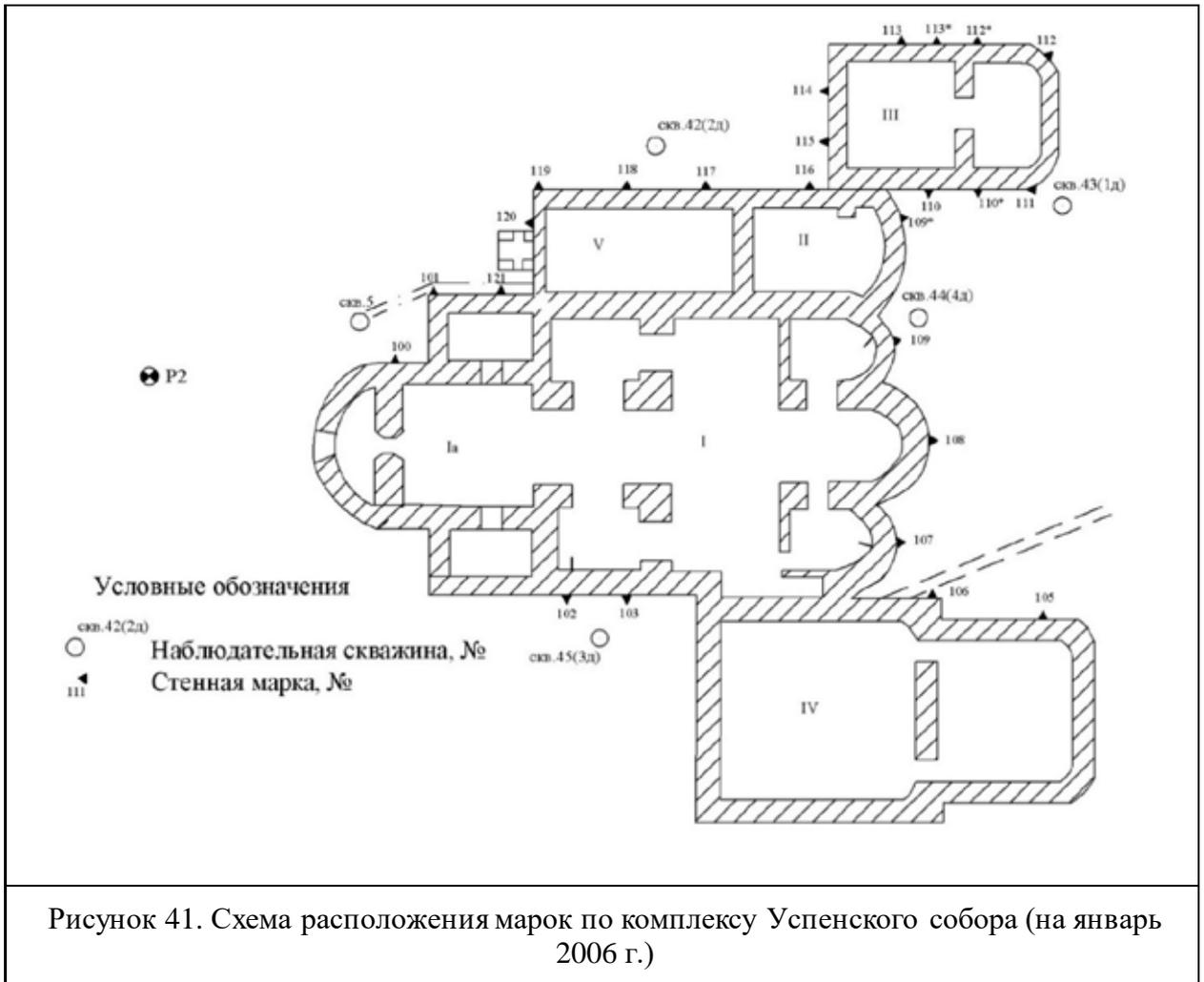
К сожалению, регулярные геодезические наблюдения проводились лишь за комплексом памятников Успенского собора и Трапезной палаты. Для остальных памятников наблюдения были нерегулярными, а также некондиционными в связи с отсутствием надежной реперной системы на территории монастыря. Наиболее регулярно проводились геодезические наблюдения за марками комплекса Успенского собора. Они были начаты в 1988 г., а с осени 2002 г. до апреля 2008 г. проводились на регулярной основе.

Режимная сеть для геодезических наблюдений за деформациями комплекса Успенского собора состояла из 25 стенных марок для наблюдений за вертикальными перемещениями конструкций и геодезических грунтовых реперов. Высотное положение определялось путем повторного нивелирования от грунтовых реперов.

Два опорных грунтовых геодезических репера были оборудованы на территории Успенского монастыря в 2002 г., в 2007 г. дополнительно были установлены еще два репера. Схема расположения марок приведена на рис 41.

Сроки проведения инструментальных наблюдений определялись режимом процессов, влияющих на устойчивость памятников. Конец марта – время максимального промерзания грунтов в основании памятников, максимального развития процесса криогенного пучения. Начало июня – завершение сезонного оттаивания грунтов, время высокого положения уровня грунтовых вод и уровня Сиверского озера. Середина октября – базовый замер перед началом промерзания. Конец декабря – время начала промерзания и активного развития криогенных процессов.

За время наблюдений установлено, что наиболее подвержены вертикальным перемещениям северная и восточная стороны комплекса. Отмечалось неравномерное и неодинаковое по годам перемещение марок для разных участков стен. Максимальная величина вертикального перемещения составила за зимний период 15 мм (зимний сезон 1993-1994 гг.), минимальная 1-2 мм (1990-1991 гг.). Для восточной стены собора наблюдается остаточное выпучивание стен, максимальная величина которого составила 12 мм.



Ниже приводится анализ результатов наблюдений последних четырех циклов нивелировок, которые провели сотрудники МГРИ-РГГРУ в марте, октябре 2007 г., феврале и апреле 2008 г. Результаты инструментальных наблюдений за положением стеновых марок были обработаны, данные замеров были сведены в обобщенную таблицу, которая характеризует динамику перемещения марок.

Общую динамику и интенсивность перемещения стеновых марок по комплексу характеризуют значения максимальных положительных и отрицательных амплитуд перемещения марок. В рассматриваемый период суммарные значения максимальных амплитуд изменялись от 2,5 мм (17 цикл) до 5,7 мм (18 и 19 циклы), что совпадает с величинами перемещения марок в 2006 г. (Рис. 42). В 2006 г. средняя суммарная максимальная амплитуда составила 4,7 мм, в 2007 – 4,6 мм, что говорит об одинаковых условиях работы конструкций. Однако, в отличие от предыдущего года наибольший вклад в суммарную составляющую внесли положительные перемещения, величина которых составила +3,5 мм (марки 110*, 111).

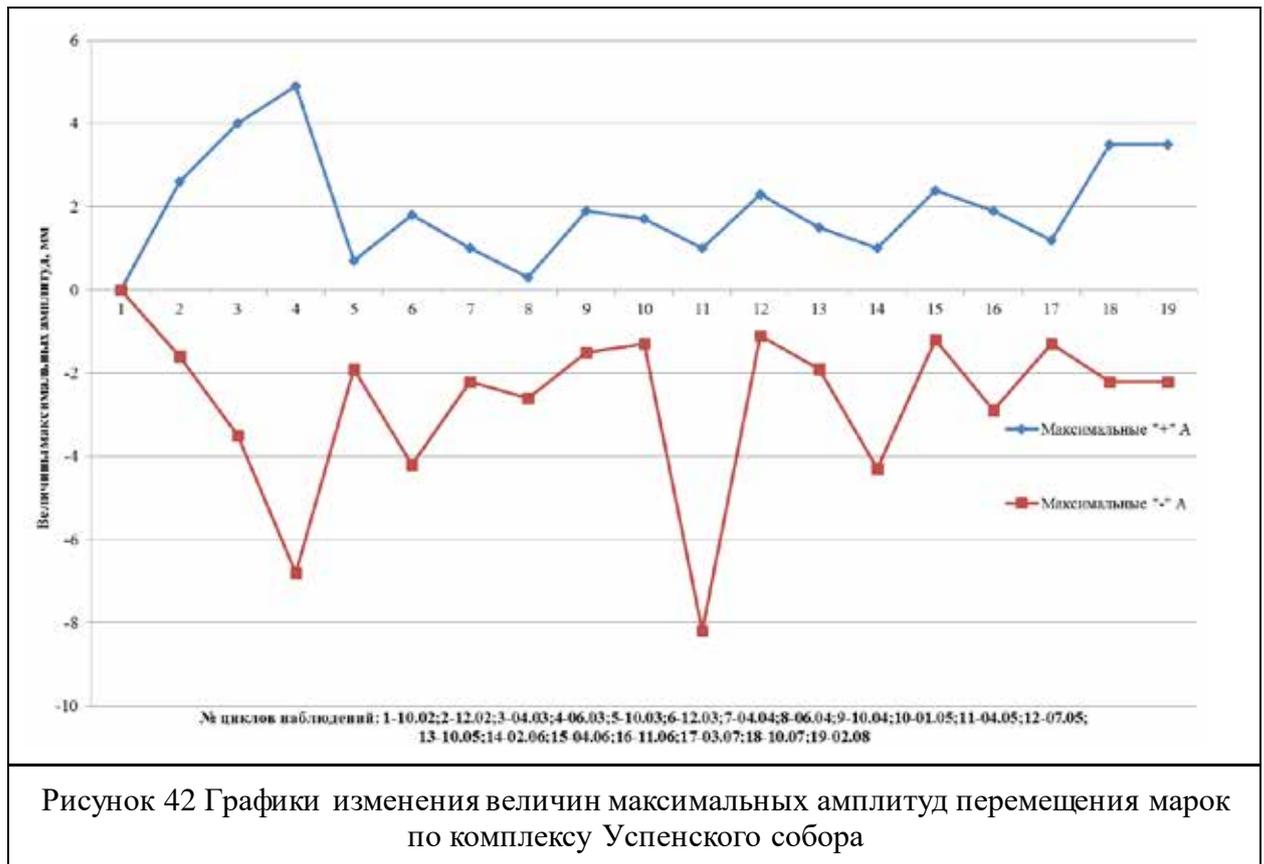


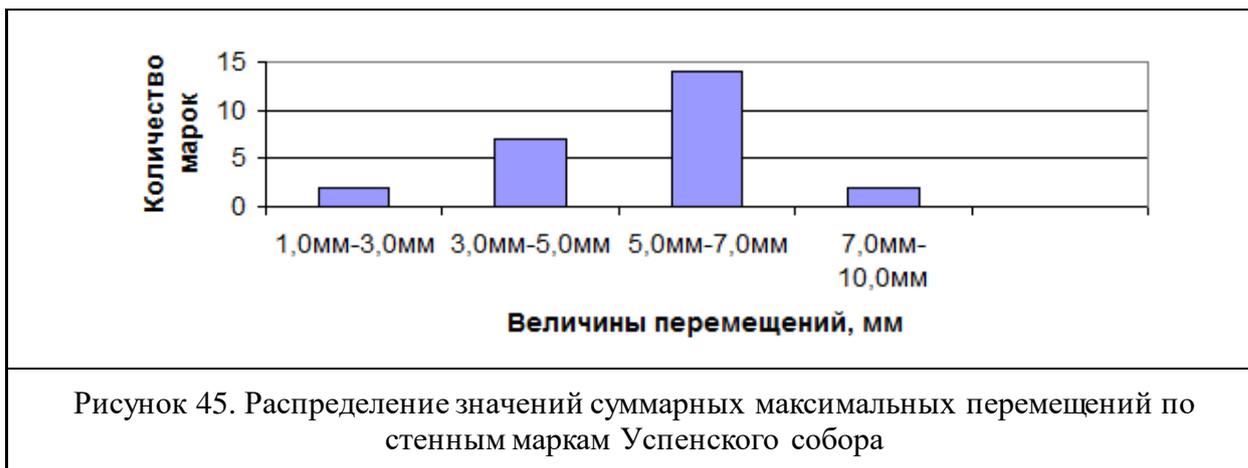
Рисунок 42 Графики изменения величин максимальных амплитуд перемещения марок по комплексу Успенского собора

Результаты наблюдений по циклам наносились на схему расположения марок, где приводились амплитуды вертикальных перемещений марок за цикл замера. Так, в 17 цикле наблюдений 28.03.2007 г. (рис. 43.), зафиксировано преимущественно положительное перемещение марок с незначительной амплитудой (максимальная амплитуда + 1,2 мм у М111), осадочное перемещение показали две марки: М116 – 1,3 мм (дверной проём ц. Владимира) и М100 (-0,3 мм). Как известно, весенние замеры проходят в период максимального промерзания грунтов, до начала оттаивания. Однако, весна 2007 г. характеризовалась ранним сходом снежного покрова и началом оттаивания, возможно вследствие этого были зафиксированы столь незначительные значения величины положительного перемещения. Суммарная величина максимальных амплитуд 2,5 мм, сопоставима с апрельским циклом 2005 года, тогда она составила 2,2 мм.



Максимальные амплитуды перемещений характеризуют периодическую и квазипериодическую составляющую движения марок. Анализ значений максимальных амплитуд перемещений по маркам показывает, что осадочные перемещения превышают положительные. Величины максимальных положительных амплитуд перемещения изменяются от 0,7 мм до 4,9 мм, отрицательных от -1 мм до -8,2 мм.

Максимальная суммарная амплитуда перемещений отмечается по 110 марке, установленной на южной стене ц. Епифания и составляет 10,8 мм. Минимальная А отмечается по марке 112* и составляет 1,9 мм. Для большинства марок диапазон перемещений находится в пределах 3-5 мм и 5-7 мм, что хорошо видно на гистограмме значений суммарных максимальных перемещений по стеновым маркам (Рис.45).



На рисунке 44 хорошо видно, что за 4 года наблюдений произошло осадочное перемещение марок на величину от -0,3 мм (м. 101) до -8,5 мм (м.100). Осадочные перемещения конструкций ц. Епифания изменяются от -1,3 мм (м.114) до -7,1 мм (м.110*), причем максимальные осадки приурочены к южной стене церкви. Марки, расположенные на алтарной стене Успенского собора ц.Владимира, показали осадочные перемещения от -1,7 до -2,2 мм.

Общее положительное перемещение (выпучивание) на величину +1,4 мм отмечено только у одной марки (м. 102), расположенной на южной стене Собора. Положительные вертикальные перемещения постоянно фиксировались по многим маркам во время зимних и весенних циклов – не было ни одного цикла, где положительные перемещения отсутствовали, хотя для ряда циклов (5, 2003 г., 7–8, 2004 г.) величины положительного перемещения составили +0,7 +0,3 мм, что близко к точности замеров. Максимальные величины положительного перемещения +4,9 +4,0 мм были отмечены по маркам 106 и 110 во время замеров зимой 2003 г. (4 и 3 цикл наблюдений).

Таким образом, многолетние наблюдения показали следующее:

- перемещение всех наблюдаемых марок происходило постоянно с разной интенсивностью, максимальная амплитуда перемещений за цикл составила в большинстве случаев 5-7 мм;
- величина перемещений зависела от интенсивности развития процесса криогенного пучения, от климатических особенностей года;
- движение марок можно охарактеризовать как периодическое и квазипериодическое, квазиустановившиеся (отмечается постоянное значительное положительное вертикальное перемещение в зимний период и осадочное перемещение весной), для некоторых марок с наличием осадочного тренда;
- наиболее неустойчивы (максимальные перемещения марок) конструкции ц. Епифания и южной стены Успенского собора (м.102-м.103);

- неравномерные перемещения марок, установленных на одном конструктивном элементе (стена ц. Епифания) свидетельствуют о блоковой структуре конструкций, разделенных трещинами (перемещение частей конструкций происходит в разном режиме, идет смещение по разрывным деформациям);
- значительная амплитуда и осадочный тренд в перемещении марок, установленных на южной стене ц. Епифания, показывает необходимость проведение скорейших реставрационных работ.

Таким образом, наблюдения по режимным сетям подтвердили установившийся квазипериодический неоптимальный режим функционирования исторической природно-технической системы «Памятники Кирилло-Белозерского монастыря - геологическая среда».

Установлено квазипериодическое изменение выделенных управляемых величин (период равен году, начало периода совпадает с осенью с концом октября- началом ноября), амплитуда их изменения.

Установлено изменение их в связи с управляющими действиями (понижение дневной поверхности).

Подтверждена необходимость дальнейшего параллельного слежения за состояниями подсистем ПТС, так как только на основании параллельных наблюдений и совместного анализа состояния памятников и грунтов основания памятника можно прийти к истинной оценке положения и принятию правильных управляющих решений.

В настоящее время все режимные сети, созданные в 1988 году, нуждаются в восстановлении, коренной реконструкции и расширении, выводе на современный уровень обработки результатов наблюдений. Опыт проведения наблюдений показал настоятельную необходимость создания отдела мониторинга в системе производственно-технического отдела музея, который будет на постоянной основе проводить наблюдения по режимным сетям мониторинга, выполнять их первичную обработку, вместе с привлеченными специалистами давать оценку состояния ПТС «памятники Кирилло-Белозерского монастыря - геологическая среда».

4.6 Управление выявленными рисками

В данном случае под управлением выявленными рисками понимают применение проектных решений для локализации негативных экзогенных геологических процессов. После проведения риск-анализа и мониторинга, подбираются методы для локализации активных процессов на территории. Подбор методов должен осуществляться на основе проведенного районирования территории для каждой выявленной зоны риска в

отдельности.

На территории Кирилло-Белозерского монастыря были выявлены процессы неравномерной осадки, подтопления, морозного пучения, процесс деструкции деревянных конструкций в основании сооружений.

Локализация процесса подтопления и уменьшения активности морозного пучения. Для проведения комплексной реставрации Успенского собора были проведены работы по детальному изучению инженерно-геологических условий территории, обследованию фундаментов собора и гидрогеологических условий Успенского холма. В результате проведенных исследований выявлены причины деформаций Успенского собора: повышенный уровень вод техногенного водоносного горизонта, переувлажнение прилегающей территории усиливающий процессы морозного пучения, наличие фундаментных вод, негативно сказывающихся на всём сооружении в целом. Для локализации этих негативных экзогенных геологических процессов было принято решение по понижению уровня подземных вод путём создания кольцевого дренажа с отводом воды в нижележащий водоносный горизонт, а также отвод атмосферных осадков от фундамента сооружения. Работы по осуществлению дренажных мероприятий выполняла компания ЗАО «СОВИНТЕРВОД» в 2007 году [165].

Проведенные работы основывались на ранее проделанных изысканиях, а также на научных выводах, сделанных сотрудниками кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ [180]. Для создания проекта дренажа имеющуюся толщу представили в виде двух фильтрационных схем: однопластовая трехслойная безнапорная система и однопластовая двухслойная безнапорная система. Средняя суммарная мощность активного слоя составляет 7 м.

Инфильтрационное питание составляет от 5×10^{-4} м/сут до 1×10^{-3} м/сут.

Зона активного водообмена трехслойной системы представлена: культурный слой – в основном супесчаные и суглинистые грунты разной степени уплотненности со строительным мусором (известковой щебенкой, битым кирпичом, древесиной), мощность отложений в среднем составляет 1,7 м; сразу под техногенными отложениями на глубинах от 0,7 до 2,3 м залегают суглинки, мощность отложений изменяется от 0,95 до 2,0 м; на глубинах от 1,5 до 5,3 м залегают пески различной крупности, мощность меняется от 2,0 до 5,0 м.

Зона активного водообмена двухслойной системы представлена культурным слоем – в основном супесчаные и суглинистые грунты разной степени уплотненности со строительным мусором (известковой щебенкой, битым кирпичом, древесиной), мощность

отложений в среднем составляет 1,7 м, и глинистыми осадками с массивной текстурой и с тонкой слоистостью ленточного типа, мощность колеблется от 3,5 м до 8,2 м.

Коэффициент фильтрации культурного слоя составляет 0,52 м/сут, коэффициент фильтрации песков составляет 5,0 м/сут, коэффициент фильтрации суглинков – 0,1 м/сут.

Гидрогеологические условия во многом определяют влажностный режим грунтов основания, интенсивность развития криогенных процессов.

По химическому составу, подземные воды агрессивны к оболочкам кабелей и неагрессивны к различным маркам бетона.

Согласно проведенному районированию на территории комплекса Успенского собора по инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям выделено 2 района -1 и 3 (рис 46).

Граница между районами 1 и 3 проходит через комплекс Успенского собора имеет направление северо-запад с на юго-восток и совпадает с направлением оси движения ледника.

На основании изучения гидрогеологических условий (глубины залегания уровня грунтовых вод и распространения верховодки) на территории музея-заповедника выделены подрайоны. В пятне застройки Успенского собора выделены следующие подрайоны: 1-Б - глубина залегания уровня грунтовых вод меньше 3,0 м от поверхности, развиты фундаментные воды, 3-Б – глубина залегания УГВ больше 3,0 м развита верховодка, фундаментные воды.

Схема инженерно-геологического районирования представлена на рисунке 31. Сфера взаимодействия комплекса Успенского собора характеризуется развитием процессов уплотнения грунтов основания, криогенного пучения, деструкции деревянных свай и влагопереноса в строительные конструкции.

Для нейтрализации негативных последствий всех этих процессов рекомендован комплекс мероприятий, в который должны входить:

1. Планировка территории Соборного комплекса с обязательным съемом грунтов культурного слоя у стен памятника до верхнего обреза фундаментов, с формированием микрорельефа, способствующего эвакуации атмосферной влаги от стен, особенно обращая внимание на участки, где происходит застаивание воды (северная сторона притвора, зона примыкания ц.Владимира и Епифания);

2. Сооружение систем шадящего дренажа на участках, примыкающих к алтарной апсиде собора, ц.Епифания, Северной паперти;

3. Устройство вертикальных сквозных дренажей у южной стены Успенского

комплекса Успенского собора для уменьшения глубины промерзания;

6. Устранение увлажнения стен и сводов здания атмосферными осадками, которое происходит из-за несовершенства кровли, плохой работы систем отвода воды с кровли и пр.

7. Для улучшения условий водоотвода всего комплекса необходимо рассмотреть вопрос о возможности ликвидации искусственной локальной возвышенности, располагающейся между северной стороной соборного комплекса и южной стороной Братских келий.

Для расчета параметров дренажной системы гидрогеологические условия района 1 схематизированы в однопластовую систему двухслойного строения, а района 3 – в слабопроницаемую однопластовую анизотропную систему.

Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется от 0,3÷0,4 м до 1,0÷1,5 м.

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, среднегодовая величина которой может составлять от 0,24 до 0,3 от суммарной величины атмосферных осадков, или $644 \cdot 0,3 = 196$ мм/год, или $= 6 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Весной, в период снеготаяния и осенью в период затяжных дождей величина сезонной инфильтрации может составлять $1 \cdot 10^{-3}$ м/сут.

Распределение дренажного стока по месяцам в разрезе года приведено в таблице 31.

Таблица 31

Распределение дренажного стока по месяцам

	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Осадки, мм	41	37	33	39	51	68	70	92	70	59	50	45
Инфильтрация осадков, $1 \cdot 10^{-4}$ м/сут.	-	-	-	15,00	4,93	6,8	6,77	8,9	7,0	5,71	-	-
Дренажный сток, м ³ /сут	-	-	-	14,0	4,5	6,2	6,2	8,2	6,4	5,4	-	-

Для понижения и поддержания уровня грунтовых вод на отметках залегания верха деревянных свай (119,8 м) по всему периметру комплекса зданий Успенского собора запроектирован кольцевой дренаж, который представляет собой горизонтальную траншею, на дно которой уложены дренажные пластиковые перфорированные трубы УроногТурла диаметром 110/95 мм и обсыпаны песчано-гравийной смесью оптимального состава. На границе контакта обсыпного фильтра и грунта траншеи укладывается геотекстиль КМ 1/250. Уклон дрен в сторону водосброса принят минимально допустимым ($i=0,002$). На углах поворота дрен $<90^\circ$ предусмотрены смотровые колодцы Уроног 315 с крышкой, а

изменения направления трассы с углом поворота $> 90^\circ$ -осуществляется с помощью гибких раструбных отводов Уропог.

Для устранения увлажнения стен и поверхностей фундаментов предусматривается устройство пристенного дренажа из двухслойного дренажного полотна Delta-Geo-Drain TP фирмы Триада-Холдинг.

Пристенная дрена собранную воду из горизонта верховодки и фундаментных вод сбрасывает в кольцевую дрена с последующей транспортировкой её в поглощающие колодцы.

Гидрогеологические условия участка № 1-Б-1 с наличием слоя песков мощностью 4,0÷5,0 м и $K_{\phi}=5,0$ м/сут со свободной ёмкостью и гидравлической связью с озером позволяют сбросить дренажные воды через поглощающие колодцы в этот слой с последующей разгрузкой этих вод в озеро. Необходимая площадь поглощающих колодцев определяется из выражения формулы расхода фильтрационного потока $Q_{max} = KIF$,

где Q_{max} – максимальный расход фильтрационного потока, м³/сут;

K – коэффициент фильтрации песков, м/сут;

F – площадь фильтрационного потока м²;

I – градиент потока =1,0 при свободной фильтрации.

В результате расчетов, установлено, что необходимая площадь инфильтрации составляет 2,8 м².

В качестве поглощающих колодцев проектом предусмотрено использование железобетонных сборных колодцев диаметром 1,0 м без днища, установленных на слой фильтра из песчано-гравийной смеси толщиной 300 см. Для обеспечения полного сброса дренажных вод необходимо строительство четырех колодцев с общей площадью инфильтрации 3,14 м².

Результатом проведенных расчётов стала дренажная система, созданная по схеме (рис.48), а также проведение необходимых работ на прилегающей к стенам территории для отвода ливневых вод от фундамента собора.

Во время проведения комплексной реставрации Успенского собора, кроме создание дренажной системы, было принято решение об **организации системы «теплого пола»**, принципиальная схема устройства представлена на рисунке 47.

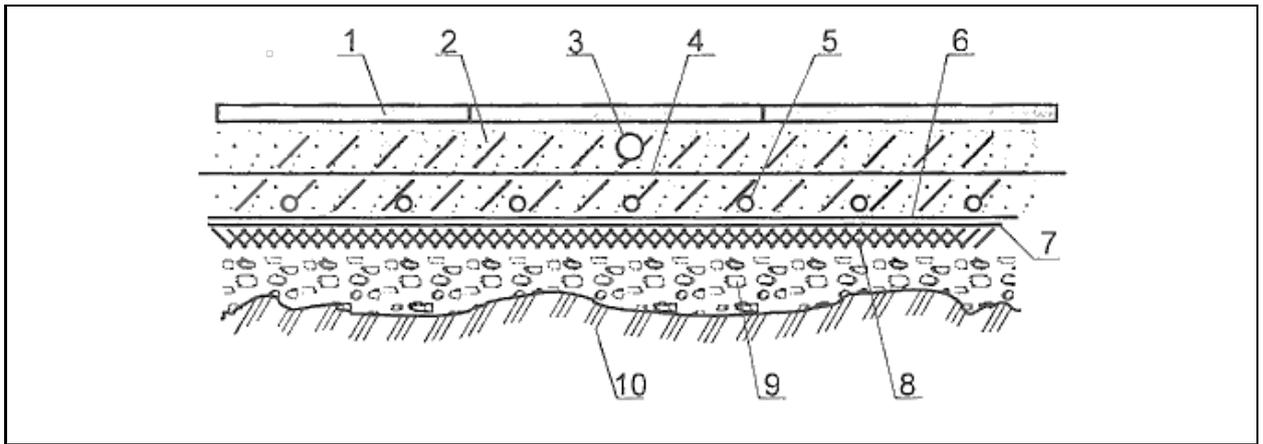


Рисунок 47. Принципиальная схема теплого пола Успенского собора: 1 – керамическая плитка; 2 – стяжка; 3 – датчик температуры пола; 4 – слой гидроизоляции; 5 – нагревательный кабель; 6 – монтажная лента; 7 – теплоотражающий экран; 8 – слой теплоизоляции; 9 – бетонное основание, на гравийно-галечной подушке; 10 – грунты основания

Перед укладкой тёплых полов была проведена подготовка поверхности: убраны несколько уровней старых половых перекрытий, проведены археологические исследования подпольного пространства. Входе которых были найдены несколько захоронений, убраны лишние наслоения культурного слоя, на выравненную поверхность которого была уложена подушка из гравийно-галечного материала, затем была выполнена бетонная стяжка пола, на которую был уложен тепло-влажностноизоляционный материал и теплоотражающий экран. После выполнения подготовительных работ был уложен нагревательный кабель, поверх него выполнена бетонная стяжка, в стяжку были установлены температурные датчики для осуществления контроля режимом работы пола, поверх стяжки была уложена специальная керамо-гранитная плитка имитирующая чугунную, уложенную в Успенском соборе в 1874 году, которая дошла до наших дней только фрагментарно.

Система тёплого пола позволила контролировать температуру в соборе и частично в основании сооружения, не допуская полного промерзания, тем самым было уменьшено влияние температурных перепадов на конструкции собора, а также уменьшена интенсивность морозного пучения.

Благодаря проведенной комплексной инженерной реставрации был установлен контроль за влажностью воздуха и предотвращение переувлажнения стен, что позволило произвести реставрацию настенной росписи и восстановить уникальный деревянный иконостас. Успенский собор изначально холодный храм, в связи с этим температура в зимний период времени поддерживается на минимальных плюсовых отметках около $+5^{\circ}\text{C}$. Такая температура не даёт образовываться льду в конструкциях и предотвращает

разрушение росписи, при этом не допускается сильный перепад наружных и внутренних температур, что благоприятно сказывается на сохранности собора в целом.

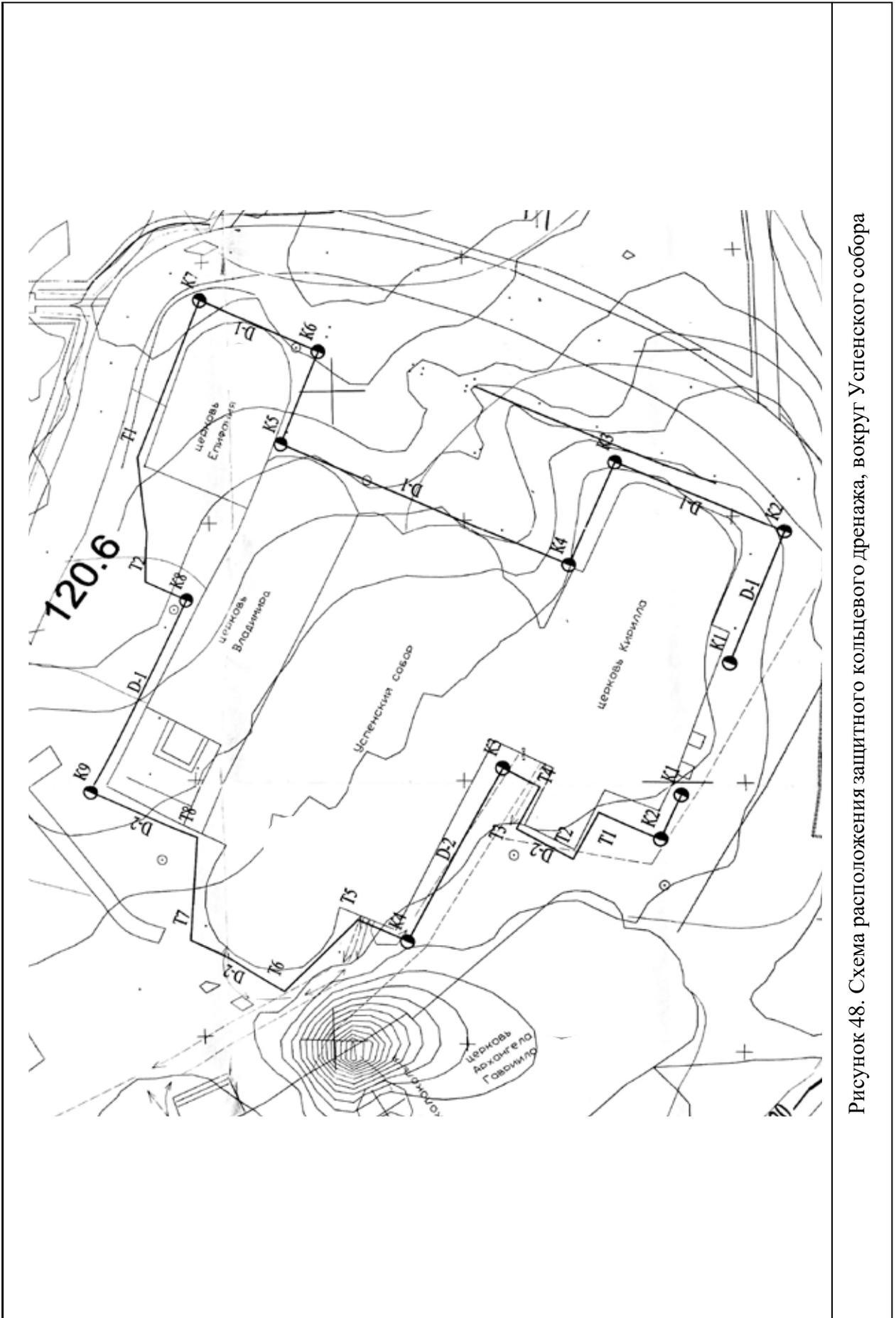


Рисунок 48. Схема расположения защитного кольцевого дренажа, вокруг Успенского собора

Атмосферные осадки могут оказывать крайне негативное влияние на конструкции сооружений. Осадки могут повысить уровень техногенного водоносного горизонта, грунтовых вод, а также создать целые горизонты фундаментных вод. (Глава 4.4). Этот процесс связан с длительной хозяйственной деятельностью человека и недостаточным контролем за существующими дренажными системами. Поэтому одним из важнейших управляющих решений для локальных ИПТС является планировка территории. Планировка заключается в комплексных мероприятиях по отводу ливневых вод от стен памятников. Вначале необходимо провести планировку территории с учётом создания ливневой канализации, при необходимости нужно восстановить системы водосбора, существовавшие в древности. Ярким примером такой системы, является ров, построенный вокруг стен Нового города. Изначально построенный в оборонительных целях, он выполнял роль искусственной дрены понижая уровень грунтовых вод. Однако со временем ров «зарос», его глубина уменьшилась, и уровень грунтовых вод поднялся, ухудшив состояние стен. В 1990 году сотрудниками кафедры инженерной геологии МГРИ были даны рекомендации по углублению рва. Глубина рва была определена по разведочным скважинам, определившим положение исторического дна рва [169].

Кроме того, необходимо восстанавливать уровень заглубления памятников, убирать по возможности техногенные грунты (культурный слой) примыкающие к стенам сооружений, что позволит улучшить влажностной режим конструкций. На уровне заложения фундаментов необходимо устраивать дискретную отмостку для обеспечения быстрой эвакуации атмосферных осадков, дополнив её системой дренажных лотков. Устанавливаются системы эвакуации атмосферной влаги с крыш в виде водосборные желобов, и ливневых труб, которые отводят воду от стен сооружений в системы ливневой канализации.

Локализация процесса деструкции деревянных конструкций в основании сооружений не простой и крайне дорогой процесс. Возможно применение различных методов, таких как: подводка новых фундаментов, применение буроинъекционных свай, метод обжатия грунта закачиванием глиноцементного раствора.

В связи с тем, что причина осадок кроется в деградации свайного поля под сооружением, одним из самых эффективных и безопасных методов является обжатия грунта закачиванием глиноцементного раствора. Данный метод позволяет выровнять плотность и неоднородность грунтов основания, путём заполнения «стаканов» сгнивших свай [87,100]. Это достигается с помощью бурение наклонных скважин небольшого диаметра под подошву фундамента, глубина скважин и принципиальная схема зависит от грунтов основания, типа фундаментов и степени сохранности свайного поля. Кроме выполнения

наклонного инъецирования глиноцементного раствора, предлагается метод горизонтального размещения скважин, непосредственно под подошвой фундамента [33,58]. Метод горизонтального расположения скважин-шпуров, был успешно реализован на нескольких объектах Свято-Троицкой Сергиевой Лавры. В то же время, наклонное расположение скважин-инъекторов применяется повсеместно и дает отличные результаты. Кроме расположения скважин, данные методы очень похожи, оба зависят от большого числа факторов и индивидуальны для каждого сооружения, а успешность реализации зависит от точности следования методике. Нагнетание в грунты основания глиноцементного раствора проводится под определенным давлением, которое зависит от множества параметров.

Методы управления выявленными рисками индивидуальны в каждом конкретном случае, и зависят от множества факторов, однако в случае локальных ИПТС они должны применяться таким образом, чтобы не затронуть рядом стоящие объекты. В целом применение «Концепции...» для локальных ИПТС позволяет:

- рассматривать проблему глобально, и не создавать риск навредить другому объекту во время реализации управляющих мероприятий;
- своевременно осуществлять управляющие мероприятия;
- применять управляющие решения комплексно, ко всем сооружениям подверженным одинаковым рискам.

4.7. Мониторинг за эффективностью мероприятий по локализации негативных экзогенных геологических процессов

Пятым, заключительным уровнем «Концепции...» является проектно-аналитическое и статистическое исследование, направленное на разработку управляющих рекомендаций по созданию установившегося режима функционирования локальной ИПТС, проводимое на основе материалов мониторинга и предыдущих исследований.

Установивший режим функционирования локальной ИПТС подразумевает установившийся режим работы главных компонентов системы, её составляющих и, прежде всего элементарных ИПТС.

Стадия установившегося режима характеризуется тем, что процессы взаимодействия подсистем ПТС, реализующиеся как инженерно-геологические процессы, достигают стадии стабилизации и их режим можно охарактеризовать как стационарный, квазистационарный или периодический. Система работает в оптимальном, заданном режиме, в таком, при котором, взаимодействия её подсистем не выходят за предусмотренные заранее и учтенные в проекте рамки [78].

Одним из главных внешних проявлений установившегося процесса функционирования является отсутствие деформаций в конструкциях сооружений.

Формирование неустановившегося режима функционирования для ИПТС носит двойной характер. В одних случаях он фиксируется у ИПТС во время крупных реставрационных мероприятий (целенаправленных управляющих воздействий), направленных на улучшение состояния памятника - подсистемы «ПА», когда меняются конструктивные схемы, происходят изменения на функциональных уровнях подсистемы. В таком случае неустановившийся режим носит управляемый, технологический характер, (его условно можно назвать **искусственным**) и после проведения мероприятий неустановившийся режим функционирования обычно меняется на переходной с выходом на установившийся с заданными параметрами. В некоторых случаях, при недостаточности или ошибочности управляющих мероприятий, режим опять возвращается в установившийся, квазистационарный на новом уровне устойчивости системы.

В других случаях неустановившийся, нестационарный режим формируется стихийно (так сказать **естественным** путём), под влиянием действия природных, техногенных или эволюционных факторов, или в силу того, что компенсационная устойчивость подсистемы «памятник» исчерпывается. Неустановившийся режим функционирования обычно приводит к ликвидации ПТС (утраты функциональной способности системы) за короткое время и является наиболее опасным для ИПТС.

Таким образом, знание того, в каком режиме функционирует ИПТС даёт возможность принимать обоснованные решения по выбору и последовательности проведения управляющих мероприятий, а определение динамики процессов позволяет составлять прогноз функционирования системы.

Оценка режима функционирования системы даётся на основе режимной информации, наблюдений за изменением параметров протекающих процессов и характеристик, определяющих состояние подсистем. Поэтому наблюдения за параметрами системы во время проведения реставрационных работ (оперативный мониторинг) должны являться обязательными при выполнении управляющих мероприятий. Перманентный контроль реакции системы на введение в действие управляющих решений позволяет корректировать проводимые мероприятия.

Наблюдения за состоянием конструкций памятника необходимо продолжать до, во время и после проведения реставрационных работ, а также в первые годы после ввода памятника в эксплуатацию и в экскурсионный показ.

В локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, как показали исследования, [110,172]. большинство элементарных ИПТС находятся в установившемся режиме

функционирования с развитием инженерно-геологических процессов с квазипериодическим характером (процессы криогенного пучения грунтов обратной засыпки, подтопление или периодическое подтопление фундаментов в результате изменения уровня Сиверского озера). Такой режим функционирования характеризуется тем, что ИПТС работает длительное время, но далеко не в оптимальном режиме. Проявлением «не оптимальности» служат изменения в подсистеме «памятник» – различные деформации в конструкциях, связанные не с конструктивными особенностями, не с фактором износа материалов, а с реакцией конструкций на постоянное, периодическое изменение условий работы. Этот вид режима имеет тенденцию перехода в неустановившийся из-за утраты компенсационных способностей подсистемы «памятник». Для повышения уровня работоспособности системы проводятся реставрационные мероприятия.

За последние 15 лет в Кирилло-Белозерском музее-заповеднике были проведены масштабные работы, связанные с архитектурной реставрацией комплекса ц. Введения с Трапезной палатой (2001-2007 гг.), Успенского собора (2011-2015 гг.) и других памятников. Оперативный мониторинг проводился во время реставрационных работ на комплексе ц. Введения с Трапезной. Рассмотрим основные полученные результаты.

Церковь Введения с Трапезной палатой является одним из древнейших архитектурных памятников (1519) на территории Кирилло-Белозерского монастыря. (Фото 38). Располагается в центре Успенского монастыря, на южном склоне холма. Памятник имеет богатую архитектурно-строительную историю. Монастырская Трапезная, как единый комплекс, включающий в себя собственно Трапезную палату, церковь, ряд хозяйственных помещений, сформировалась на рубеже XV и XVI в.в. Сооружение двухэтажное, с высоким подклетом, сложной конфигурации. Одностолпная трапезная палата, перекрытая сводом с распалубками, являлась одной из крупнейших для своего времени. К прямоугольному корпусу Трапезной палаты, вытянутому с запада на восток на 28,5 м, примыкает с востока восьмигранный объем ц. Введения. Церковь Введения представляет собой двухъярусный прямоугольный в плане объем со скошенными северо-восточным и восточным углами, размерами 13,5 м с востока на запад и 11 м с севера на юг. Толщина стен церкви Введения 1,8 м, Трапезной палаты до 2,1 м.



Фото 38. Церковь Введения с Трапезной палатой 1519 год

Здание неоднократно перестраивалось (конец XVIII в.). В XX веке в помещениях Трапезной размещалась основная экспозиция Кирилло-Белозерского музея. Памятник постоянно находился в режиме эксплуатации, во внутренних помещениях постоянно производился текущий косметический ремонт. По эксплуатационному режиму сооружение – «теплое», отапливаемое.

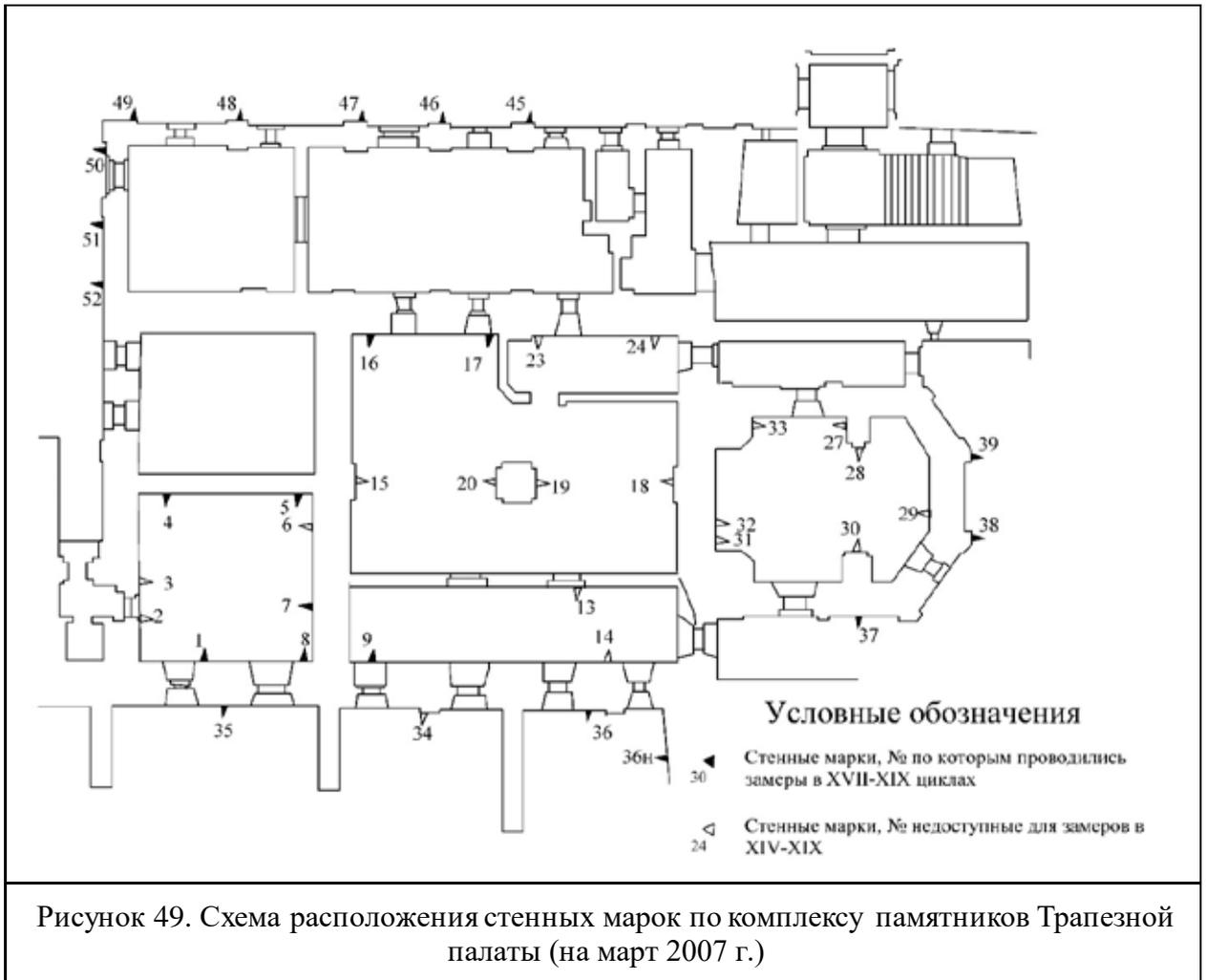
Сооружение к 2000 году было значительно деформировано. Отмечались многочисленные трещины разного масштаба (от нитевидных до разрывов в несколько сантиметров) в несущих конструкциях и арочных сводах. Трещины имели разный генезис, в основном осадочного характера [171]. Деформации конструкций Трапезной палаты в прошлом сделали необходимым сооружение массивных контрфорсов по всей южной стене здания. Глубина заложения фундамента контрфорса – 2,05 м, что значительно глубже глубины заложения фундамента стены – 1,4 м. Выявлены следы усиления фундаментов в прошлом. В начале 80-х годов XX в. были проведены работы по противоаварийному укреплению фундаментов ц. Введения и Трапезной палаты. Валунные фундаменты были расширены с помощью железобетонных обойм на ширину до 1,0 м. К сожалению, качество выполнения работ по усилению фундаментов было низким, в некоторых случаях железобетонная конструкция просто не подводилась. В 2001 году началась, а в 2006 году завершилась полномасштабная реставрация памятника, включившая в себя частичную реконструкцию фундаментов.

Целенаправленное изучение Трапезной палаты как элементарной ИПТС не проводилось. Работы сотрудников кафедры инженерной геологии в комплексе с другими исследованиями позволили охарактеризовать строение сферы взаимодействия памятника и геологической среды, установив следующие основные особенности [118,171].

- сфера взаимодействия ц. Введения с Трапезной палатой характеризуется сложным неоднородным строением, особенностью которого является наклонное залегание слоистых отложений водно-ледникового генезиса;
- выделяются три участка, для которых характерен разный набор инженерно-геологических элементов в основании фундаментов;
- наклонное залегание слоистых флювиогляциальных отложений, может стать причиной сдвига грунтов и деформаций сооружения при дополнительной пригрузке фундаментов, изменении влажностного режима основания;
- залегание сильносжимаемых грунтов в юго-западном углу сооружения и наличие свай разной степени сохранности, в основании фундаментов, может вызвать дополнительные неравномерные осадки сооружения при дополнительных нагрузках;

Недостаток априорной инженерно-геологической информации, отсутствие достоверной информации о конструкции фундаментов и инженерной подготовки основания вызвал необходимость постановки текущих наблюдений «оперативный мониторинг» за состоянием конструкций сооружения во время проведения реставрации и после её окончания [80,119].

В подклетах Трапезной палаты и ц. Введения в июле 2002 г. по инициативе аспиранта кафедры инженерной геологии Нефёдова С.Л. было установлено 26 стенных марок (Рис. 49). Первый замер был проведен 24.10.2002 г. и был принят за нулевой отсчёт. До установки музейной экспозиции в центральном подклете весной 2006 г. было проведено 15 циклов наблюдений. Затем, в связи с установкой экспозиции и вводом в музейную эксплуатацию помещений комплекса, проведение замеров по ственным маркам, стало невозможным. По сохранившимся и новым маркам, установленным на внешних северной и западной стенах комплекса, проведены три цикла наблюдений. Результаты наблюдений за положением ственных марок обработаны согласно принятой методике [173,181].



Главные итоги наблюдений за устойчивостью конструкций комплекса следующие:

1. Суммарные перемещения марок относительно первого замера незначительны по величине и изменялись от -6,1 мм до +1,4 мм. Схема значений величин перемещений марок в подклете на 17 октября 2005 г. приведена на рисунке 49. Максимальные значения осадочного перемещения приурочены к маркам 17 (северная стена подклета) (-5,0) мм и 19 (центральный столп) – 6,1 мм. Возможно, такие величины перемещения связаны с механическим воздействием на марки в процессе производства реставрационных работ.



2. Характер перемещения марок за 15 циклов был неравномерным и знакопеременным. Отмечались положительные и осадочные перемещения марок. Максимальные величины амплитуд перемещений конструкций отмечены в марте 2003 г (8,0 мм), и феврале 2006 г. (7,5 мм). Наиболее спокойным был период с конца 2003 г. до начала 2005 г. (циклы 6-10), когда амплитуда перемещений марок не превышала 4 мм, а в 10 цикле составила 1,4 мм.

3. Замерами отмечено неравномерное перемещение марок, установленных на одном конструктивном элементе (марки 20 и 19, установленные на противоположных поверхностях центрального столба, марки 14 и 36, установленные на внутренней и внешней поверхностях южной стены, марки 31 и 32, установленные на западной стене подклета ц. Введения), что свидетельствует о повышенном напряженном состоянии, возможном перекосе конструкций.

4. Установлена тенденция перемещения марок (а следовательно и конструкций) по принципу «качелей»: марки подклета ц. Введения и части центрального подклета Трапезной палаты относятся к одному крылу направления перемещения, а марки западного

подклета и внешней части южной стены к другому. Замер 15 цикла показал, что к области положительного направления перемещения марок относились марки подклета ц. Введения, а к осадочной области перемещения были приурочена марки Западного подклета.

По имеющимся данным была проведена **статистическая обработка материалов наблюдений**.

Для обработки результатов наблюдений был применен корреляционный анализ, между значениями амплитуд перемещения марок расположенных в Западном, центральном подклетах на южной стене ц.Введения по 15 циклам замеров.

Статистический корреляционный анализ, примененный к замерам вертикальных перемещений по стенным маркам, показывает следующее.

Наличие высокосignимой и значимой **прямой** корреляции между перемещениями марок ($R = 0,99 - 0,6$) говорит о едином характере перемещения марок и следовательно, об одинаковой «работе» элементов конструкции на которых установлены марки.

Наличие высокосignимой и значимой **обратной** корреляции между перемещениями марок ($R = -0,99 - -0,6$) свидетельствует о противоположном характере перемещения марок, а значит о перекосе конструкции, что является признаком напряженного состояния конструкции и предвестником развития деформаций.

Коэффициент корреляции близкий к 0 свидетельствует об отсутствии статистической взаимосвязи между коррелируемыми величинами, а значит о независимой друг от друга работе элементов конструкций, на которых расположены марки.

Результаты проведенного корреляционного анализа представлены в виде матрицы значений (корреляционная таблица 34). Расчёты показали следующее:

- Значимая и высокосignимая корреляция с $R = 0,6-0,94$ присутствует между перемещениями отдельных марок, расположенными в Западном подклете и Центральном подклета М15-М16, М15-М20 и др.
- По большинству марок корреляционный анализ показал незначимые величины коэффициента корреляции $R = 0,1-0,5$, что говорит о независимой работе разных строительных конструкций или свидетельствует о независимой друг от друга работе элементов конструкции.
- Отрицательные значения R , незначительные по величине получились между марками Западного подклета и марками центрального подклета.
- Расчет коэффициента корреляции между перемещениями марок (установленных на разных поверхностях одной стены) 14 и 36 показал значение $R = -0,65$, что говорит о наличии достаточно тесной взаимосвязи в движении марок, а поскольку марки

установлены на одном конструктивном элементе, то и о возможных деформациях, «зонах риска».

Таблица 34

Корреляционные таблицы 2005 и 2006 г.г.

2006 год

R	З.П.	15*	16	20	14	34	35	9	36	Вед.
ЗП	1	<i>0.34</i>	0.13	0.44	-0.22	<i>0.38</i>	0.09	<i>-0.23</i>	0.55	-0.59
15	<i>0.34</i>	1	<i>0.94</i>	<i>0.68</i>	<i>0.69</i>	<i>0.28</i>	<i>0.23</i>	<i>0.24</i>	<i>-0.53</i>	<i>-0.31</i>
16	0.13	<i>0.94</i>	1	0.45	0.66	<i>0.35</i>	0.04	<i>0.13</i>	-0.59	-0.2
20	0.44	<i>0.68</i>	0.45	1	0.7	<i>-0.25</i>	0.49	<i>0.51</i>	-0.59	-0.68
14	-0.22	<i>0.69</i>	0.66	0.7	1	<i>-0.21</i>	0.3	<i>0.58</i>	-0.76	-0.06
34	<i>0.38</i>	<i>0.28</i>	<i>0.35</i>	<i>-0.25</i>	<i>-0.21</i>	1	<i>-0.10</i>	<i>-0.33</i>	<i>0.26</i>	<i>-0.16</i>
35	0.09	<i>0.23</i>	0.04	0.49	0.3	<i>-0.10</i>	1	<i>0.49</i>	-0.26	-0.34
9	<i>-0.23</i>	<i>0.24</i>	<i>0.13</i>	<i>0.51</i>	<i>0.58</i>	<i>-0.33</i>	<i>0.49</i>	1	<i>-0.53</i>	<i>0.03</i>
36	0.55	<i>-0.53</i>	-0.59	-0.59	-0.76	<i>0.26</i>	-0.26	<i>-0.53</i>	1	-0.24
Вед.	-0.59	<i>-0.31</i>	-0.2	-0.68	-0.06	<i>-0.16</i>	-0.34	<i>0.03</i>	-0.24	1

15* - выделены курсивом значения R, не пересчитанные с 2005 г.

2005 год

R	З.П.	15	16	20	14	34	35	9	36	Вед.
ЗП	1	0.34	0.34	0.49	-0.07	0.38	0.06	-0.23	-0.38	-0.51
15	0.34	1	0.94	0.68	0.69	0.28	0.23	0.24	-0.53	-0.31
16	0.34	0.94	1	0.52	0.64	0.35	0.05	0.13	-0.41	-0.29
20	0.49	0.68	0.52	1	0.77	-0.25	0.48	0.51	-0.53	-0.67
14	-0.07	0.69	0.64	0.77	1	-0.21	0.29	0.58	-0.65	-0.16
34	0.38	0.28	0.35	-0.25	-0.21	1	-0.10	-0.33	0.26	-0.16
35	0.06	0.23	0.05	0.48	0.29	-0.10	1	0.49	-0.47	-0.34
9	-0.23	0.24	0.13	0.51	0.58	-0.33	0.49	1	-0.53	0.03
36	-0.38	-0.53	-0.41	-0.53	-0.65	0.26	-0.47	-0.53	1	0.59
Вед.	-0.51	-0.31	-0.29	-0.67	-0.16	-0.16	-0.34	0.03	0.59	1

*ЗП – обобщенные значения перемещения марок Западного подклета

**Вед.– обобщенные значения марок церкви Введения

Анализ значений коэффициента корреляции подтвердил выявленную неравномерность перемещения ряда марок по принципу «качелей». Это относится к маркам Западного подклета (ЗП) и маркам ц. Введения (Вед.) ($R=-0,51$), маркам ц. Введения и маркой 20 ($R = -0,67$), маркам южной стены. Таким образом, участки конструкций, на которых расположены вышеуказанные марки, могут считаться вероятными зонами риска по развитию деформаций.

Полученные результаты подтверждают предположения [171] о напряженном состоянии конструкции и вероятной блоковой структуре южной стены. Между перемещениями марок М9 (установленной на внутренней поверхности южной стены) и М36 (располагающейся на внешней поверхности) и перемещениями марок М35 и М36, установленных на внешней поверхности южной стены, коэффициент корреляции имеет отрицательную величину $R_{9-35}=-0,39$, $R_{35-36}=-0,09$, что свидетельствует об обратной

корреляционной зависимости и отсутствии статистической взаимосвязи между коррелируемыми величинами, а, значит о независимой работе конструктивных элементов.

Таким образом, полученные значения R могут служить индикатором напряженности конструкций или конструкции, что дает возможность оконтурить зоны повышенной потенциальной опасности.

Корреляционный анализ подтвердил качественные выводы, сделанные ранее о закономерной неравномерности перемещений марок разных конструктивных элементов и выявил зоны, где вероятнее всего могут произойти деформации. Полученные результаты проведенного корреляционного анализа свидетельствуют об эффективности его применения при анализе результатов наблюдений за вертикальными перемещениями конструкций.

Проведенные в 2007-2008 гг. геодезические наблюдения по стенным маркам подтвердили неустановившийся режим функционирования сооружения. 18 цикл наблюдений показал максимальную суммарную амплитуду перемещений марок, которая составила 15,1мм. Наибольшее беспокойство вызвало поведение марок, установленных на разновозрастных фрагментах западной стены. Этот участок конструкции был «проблемным» с давнего времени. Крупные деформации – трещины, разрывные нарушения кирпичной кладки, отмечались здесь постоянно. Неравномерное перемещение марок после проведенных работ – свидетельство неравномерной осадки и развития разрывной деформации между разновременными конструкциями.

Можно сказать, что ИПТС «Комплекс Трапезной палаты» находится в переходном режиме функционирования, состоянии адаптации системы к новым условиям. И то, что процесс адаптации идет, отмечают внешние нарушения, зафиксированные в марте 2007 г. и подтвержденные в феврале 2017 г.

1. Отмечается сильный капиллярный подсос по поверхности северной стены Трапезной палаты на участке, примыкающем к правой стороне крыльца (вход). Высота увлажнения стены до 1,5 м. Идёт формирование высолов хлопьевидной формы, разрушение штукатурного слоя (мучнистое разрушение), наблюдается развитие грибка (Фото 37,38).

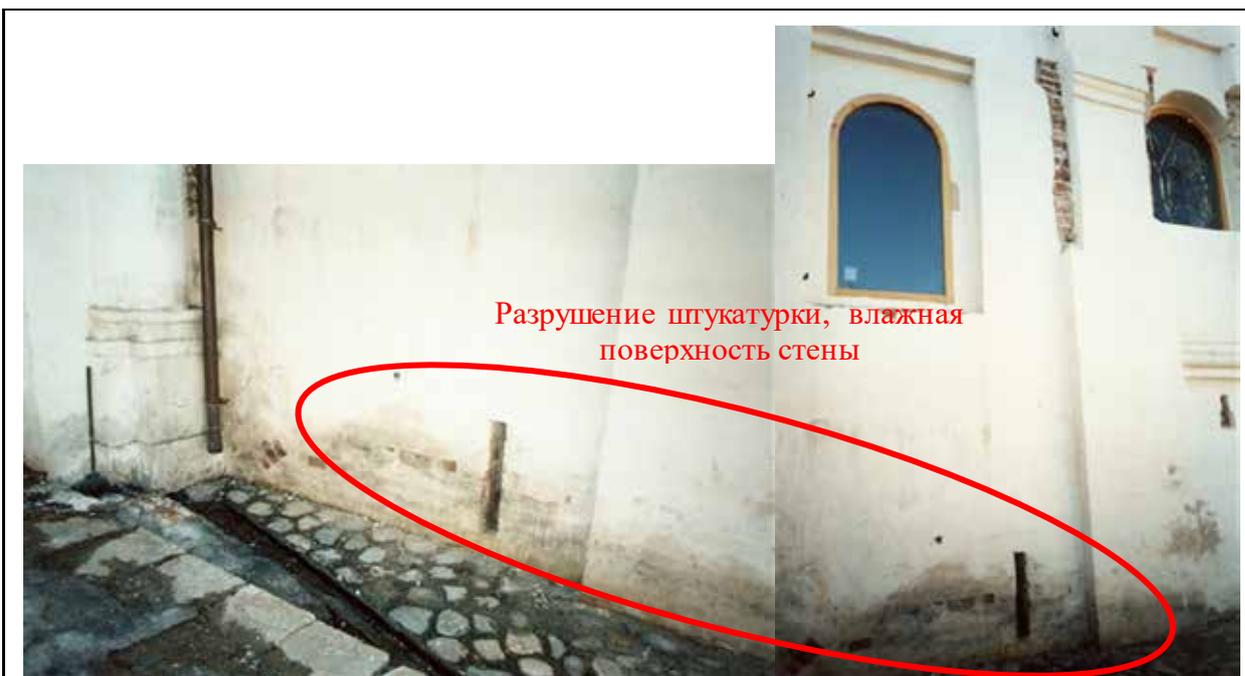


Фото 37,38. Северная стена Трапезной

2. Продолжает отмечаться сильное переувлажнение на высоту до 1,0 м от уровня пола внутренних конструкций и, в частности, центрального столба в центральном подклете Трапезной (фото 39).



Фото 39. Западная стена Трапезной

3. Наблюдается развитие структурных деформаций по поверхности внешних стен. На внешней стороне северной стены прослеживается развитие нитевидных трещин через оконные проемы. Трещины вертикальные, прослеживаются на всю высоту стены. В некоторых случаях – сквозные. На западной и южной стенах наблюдается развитие трещин по старым деформациям (залеченный разрыв западной стены в месте примыкания двух разновозрастных объемов) (Фото 40).



К сожалению, достоверно соотнести происходящие деформации с процессами в «сфере взаимодействия» не удастся. Процессы, связанные с промерзанием грунтов и криогенным пучением для комплекса Трапезной палаты, были исключены из-за подводки отопления и устройства системы «теплых полов». Влияние колебаний уровня грунтовых вод, их взвешивающего действия на фундаменты памятника пока не подтверждается. На устойчивость конструкций в данное время более всего могут влиять значительная неоднородность грунтов и эволюционные процессы в основании.

Таким образом, исходя из вышесказанного, в настоящий момент времени режим ИПТС «комплекс Трапезной палаты» можно определить, как квазиустановившийся переходный, неоптимальный. Зафиксированные деформации, особенно для западной части комплекса, требуют возобновления инструментальных наблюдений возможно с применением нового оборудования (сканер).

Оперативный мониторинг позволил выявить основные этапы адаптации сооружения к происходящим взаимодействиям на основании изменения измеряемых параметров (в данном случае величины перемещения стенных марок) и их контроля (были выявлены

«зоны риска» – участки, где конструкции находятся в напряженном состоянии, к ним относятся участок центрального столпа, южная стена Трапезной палаты). Игнорирование результатов оперативного мониторинга для принятия управляющих решений привело к сохранению неоптимального режима функционирования комплекса и продолжению развития деформаций.

Отсутствие системы мониторинга для элементарных ИПТС до, вовремя и после управляемых техногенных взаимодействий (реставрации) приводит к некорректной оценке эффективности проведенных работ и делает непрогнозируемой стабильность работы исторического сооружения в дальнейшем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований заключаются в следующем.

1. Действующие в России, историко-архитектурные музеи-заповедники предлагается рассматривать как локальные исторические природно-технические системы (ИПТС), что подтверждается положениями ГОСТ.

2. Проведено структурирование локальных архитектурных ИПТС на основе системного анализа и схемы классификации. Общая структура локальных архитектурных ИПТС включает в себя следующие структурные подразделения: элементарные ИПТС, природно-археологические системы (ПАС) культурного слоя, природно-трансформированные системы (ПТрС) водных и ландшафтных объектов, современные элементарные ПТС. Элементарные ИПТС, ПАС культурного слоя, ПТрС водных и ландшафтных объектов являются охраняемыми и сохраняемыми, современные ПТС имеют функциональное назначение.

3. Особенности структуры локальных архитектурных ИПТС позволяют дополнить общую классификацию локальных ИПТС. Предлагается ввести для классификации локальных архитектурных ИПТС, в общую классификацию дополнительные иерархические уровни – по занимаемой площади и наличию водных и ландшафтных объектов. Приведена схема классификации локальных архитектурных ИПТС и примеры её применения для локальных ИПТС Кирилловского района Вологодской области.

4. Рассмотрение архитектурного ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря как локальной исторической природно-технической системы потребовало проведения её структурирования, характеристики развития и состояния системы и её подсистем на главных этапах функционирования с обозначением основных направлений внешнего техногенного воздействия. В настоящее время локальная ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря находится на этапе сохранения и музеефикации со значительной рекреационной нагрузкой (до 300 тыс. экскурсантов в год).

5. Локальная ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря содержит четыре структурных подразделения: 53 элементарные ИПТС памятников архитектуры – главные структурообразующие элементы системы, ПАС культурного слоя и некрополей, ПТрС речки Свияги и Ивановского холма, ПТС инженерных сетей (водонесущих, тепловых и кабельных коммуникаций) и защитных сооружений. В работе дана краткая характеристика технических подсистем – памятников архитектуры, культурного слоя, речки Свияги, Ивановского холма, современных коммуникаций и дренажной системы. Приводятся авторские схемы разновидностей культурного слоя Кирилло-Белозерского

монастыря, изолиний мощности техногенных накоплений, инженерных сетей на территории Кирилло-Белозерского монастыря.

6. Автором был выполнен анализ изученности подсистемы «СВ» локальной ИПТС с характеристикой этапов изучения, видов и объемов работ. Установлено, что не смотря на большой объем проведенных работ (только в 1987-2007 г.г. пройдено 85 скважин и 83 шурфа), получена недостаточно детальная горно-геологическая информация о строении СВ и подземной части памятников. Построена актуализированная схематическая карта фактического материала проведенных инженерно-геологических работ на территории монастыря.

7. На основании имеющейся информации охарактеризованы общие инженерно-геологические особенности строения подсистемы «СВ» локальной ИПТС. Дана характеристика: а) распространения и состава выделенных 9 стратиграфо-генетических комплексов; б) гидрогеологических условий; в) экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и их проявлений. Были построены на топографической основе 2014 г. масштаба 1:500:

- актуализированная схематическая карта фактического материала;
- актуализированная схематичная карта инженерно-геологических условий территории монастыря;
- инженерно-геологические разрезы;
- карта изолиний мощности техногенных накоплений;
- карта изолиний абсолютных отметок кровли валдайской морены.

8. Актуализированная инженерно-геологическая карта территории Кирилло-Белозерского монастыря, которая является картографической моделью инженерно-геологического строения «сферы взаимодействия» локальной ИПТС отразила:

- сложное, мозаичное геологическое строение территории;
- значительную литологическую неоднородность в латеральной плоскости;
- сложные гидрогеологические условия;
- широкое распространение экзогенных геологических процессов (подтопление, заболачивание, криогенное пучение грунтов зоны сезонного промерзания) и их проявлений;
- фрагментарность изученности и значительное количество «белых пятен», не позволяющих построить логически законченную модель «сферы взаимодействия».

9. Автором разработаны основные положения и алгоритм реализации концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов в основании памятников для локальных ИПТС.

10. Рассмотрена методика проведения специального аналитического исследования, которая включает в себя: оценку изученности локальной ИПТС, в том числе оценку изученности подсистемы «СВ», ретроспективный анализ функционирования локальной ИПТС.

11. Приведена характеристика изученности подсистемы «СВ» для локальной ИПТС и определена степень изученности. Установлено, что до сих пор для половины из 53 выделенных элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря строение сферы взаимодействия изучено слабо или не изучено совсем.

12. Проведенный ретроспективный анализ показал, что главными техногенными взаимодействиями для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря явились:

- строительно-хозяйственные мероприятия, проводившиеся в XVI веке во время возведения крепостных стен Старого города (организация рельефа, использование имеющихся водотоков для хозяйственных целей – сооружение мельниц, плотин);
- мероприятия, проводившиеся в XVII веке во время возведения крепостных стен Нового города (организация рельефа, строительство фортификационных сооружений).
- строительство в начале XIX века Северо-Двинской гидротехнической системы (гидротехнической ИПТС), включившее в состав верхнего бьефа Сиверское озеро, на берегу которого располагается монастырь.

13. Второй этап реализации «Концепции..» включает инженерно-геологическое обследование. Особенности строения и структуры локальных ИПТС, предопределяют необходимость использования при инженерно-геологическом обследовании специализированной инженерно-геологической съемки, и метода инженерно-геологической диагностики причин деформаций памятников Е.М. Пашкина. Результатом исследования является диагноз состояния ИПТС на момент исследования, характеристика состояния и оценка режима функционирования ИПТС.

14. На основе имеющейся информации о состоянии подсистем «памятник архитектуры» и «сфера взаимодействия памятника с геологической средой» проведена оценка существующего режима функционирования элементарных ИПТС локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря. Установлено:

- большинство памятников функционирует в условиях установившегося квазистационарного не оптимального режима;

- элементарная ИПТС Успенского собора функционирует в установившемся оптимальном режиме;
- несколько ИПТС (прясло крепостных стен между Белозерской и Косой башнями, ц. Сергея Радонежского) в связи с продолжающейся реставрацией находятся в технологически неустановившимся режиме функционирования;
- ИПТС прясла крепостной стены между Свиточной башней и Рыболовецкой палаткой находится в неустановившемся, нестационарном режиме функционирования.

15. Общий характер режима функционирования локальной ИПТС Кирилло-Белозерского музея-заповедника определен как установившийся, квазистационарный, не оптимальный.

16. Третий этап реализации «Концепции...» включает в себя проведение «риск-анализа», который позволяет выйти на оценку опасности развития негативных инженерно-геологических процессов. Для локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря была проведена качественная оценка риска развития негативных инженерно-геологических процессов, на основе картографических моделей «Сферы взаимодействия исторических объектов Кирилло-Белозерского монастыря с геологической средой» и метода «цветовой идентификации».

17. Построенная карта инженерно-геологического районирования территории Кирилло-Белозерского монастыря с оценкой вероятности риска развития негативных инженерно-геологических процессов позволила выделить подрайоны, для которых риск развития процессов, оказывающих негативное влияние на сооружения, наиболее вероятен.

18. На основании карт инженерно-геологических условий и инженерно-геологического районирования, структурирования сферы взаимодействия и построения расчётных схем, проведена детальная типизация инженерно-геологических условий территории, на котором располагается прясло крепостной стены между Вологодской и Кузнечной башнями.

19. Проведенная типизация дала возможность определить характер и очертить границы управляющих взаимодействий, направленных на стабилизацию инженерно-геологических процессов в границах сферы взаимодействия.

20. Четвертый этап «Концепции...» состоит в разработке и внедрении системы мониторинга локальной ИПТС. Сформулирована цель его организации, которая заключается в обеспечении раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов, при реализации которых существует возможности

возникновения экстремальных ситуаций в отслеживаемой системе. Приведены основные концептуальные положения мониторинга локальных ИПТС.

21. В качестве примера рассмотрены обработанные автором результаты многолетних наблюдений по режимным сетям мониторинга локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря, которые показали следующее

- Гидрогеологические наблюдения по скважинам установили изменение режима подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, гидравлически связанного с Сиверским озером – значительно более низкое положение УГВ в осенне-зимний период в период 90-х – 2000-х годов, чем в 80-е, оценили эффективность проведения работ по реконструкции крепостных рвов и работу вертикального дренажа.
- Наблюдения за параметрами, определяющими условия развития процесса криогенного пучения грунтов: высотой и характером распределения снежного покрова, интенсивностью развития процесса пучения по маркам пучиномерам, глубиной сезонного промерзания грунтов, позволили: установить техногенный характер распределения снежного покрова по территории монастыря с оконтуриванием зон расчисток снега; выявить весьма интенсивный характер криогенного пучения; установить диапазон и изменение по годам глубин реального промерзания грунтов в «холодных» памятниках (до 190 см в коморе стены Нового города, до 120 см в алтаре Успенского собора), установить возможность существования в холодных сооружениях «перелетков».
- Регулярные геодезические наблюдения за комплексом памятников Успенского собора позволили установить, что наиболее подвержены вертикальным перемещениям северная и восточная стороны комплекса, движение марок можно охарактеризовать как периодическое и квазипериодическое, квазиустановившиеся (отмечается постоянное значительное положительное вертикальное перемещение в зимний период и осадочное перемещение весной), для некоторых марок с наличием осадочного тренда. Неравномерные перемещения марок, установленных на одном конструктивном элементе (стена ц. Елифания) свидетельствуют о блоковой структуре конструкций, разделенных трещинами (перемещение частей конструкций происходит в разном режиме, идёт смещение по разрывным деформациям).
- Наблюдения по режимным сетям подтвердили установившийся квазипериодический неоптимальный режим функционирования исторической природно-технической системы «Памятники Кирилло-Белозерского монастыря - геологическая среда» и необходимость продолжения режимных наблюдений.

22. Мониторинг за эффективностью мероприятий по локализации негативных экзогенных геологических процессов является заключительным этапом реализации «Концепции». Наблюдения за параметрами системы во время проведения реставрационных работ (оперативный мониторинг) должны являться обязательными при выполнении управляющих мероприятий. Перманентный контроль реакции системы на введение в действие управляющих решений позволяет корректировать проводимые мероприятия.

23. Результаты проведения оперативного мониторинга, проводимого во время и после реставрационных работ на комплексе ц. Введения с трапезной, были статистически обработаны с помощью корреляционного анализа между значениями амплитуд перемещения марок расположенных в Западном, центральном подклетах и на южной стене по 15 циклам замеров. Корреляционный анализ подтвердил качественные выводы, сделанные ранее, о закономерной неравномерности перемещений марок разных конструктивных элементов и выявил зоны, где вероятнее всего могут произойти деформации. Анализ значений коэффициента корреляции подтвердил выявленную неравномерность перемещения ряда марок по принципу «качелей». Полученные значения коэффициента корреляции (R) могут служить индикатором напряженности конструкций или конструкции, что дает возможность оконтурить зоны повышенной потенциальной опасности.

24. Оперативный мониторинг позволил выявить основные этапы адаптации сооружения к происходящим взаимодействиям на основании изменения измеряемых параметров (в данном случае величины перемещения стенных марок) и их контролировать (были выявлены «зоны риска», участки, где конструкции находятся в напряженном состоянии к ним относятся участок центрального столпа, южная стена Трапезной палаты). Игнорирование результатов оперативного мониторинга привело к сохранению неоптимального режима функционирования комплекса и продолжению развития деформаций.

25. Применение «Концепции...» к памятникам локальной ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря позволило обобщить разновозрастный фактический материал, составить актуализированные модели строения СВ, что дает возможность скорректировать и оптимизировать управляющие мероприятия, а также проектные решения. Предлагаемый алгоритм концепции, может быть использован в качестве одной из составляющих общей концепции устойчивости памятников архитектуры историко-архитектурных ансамблей, которые рассматриваются как локальные исторические природно-технические системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова Т.Т. Экомониторинг подземного археологического музея г.Москвы // Сборник трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 117–130.
2. Абрамова Т.Т., Щуцкая Г.К. Многолетние наблюдения за сохранением музеефицированного грунта культурного слоя //Сб. трудов 3-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 8–11 октября 2006 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2008. С. 141–149.
3. Бондарев М.В. Эволюционный аспект функционирования исторических природно-технических систем на примере памятников русской средневековой архитектуры // Геоэкология. 2007. № 3. С. 281–286.
4. Бондарев М.В. Эволюция инженерно-геологических условий исторических территорий на примере памятников архитектуры XV –XVIII в.в. / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Бондарев Михаил Викторович. – М., 2005. – 26 с.
5. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: учебное пособие. – М.: ИД КДУ, 2015. – 296 с.
6. Бондарик Г.К. Геокибернетика - инструмент диагностики и прогнозирования состояний природных и природно-технических систем // Геоэкология. 2012. № 4. С. 364–371.
7. Бондарик Г.К., Л. Чан Мань, Ярг Л.А. Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов. – М.: Издательство ОАО «ПНИИИС», 2009. – 260 с.
8. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н. Теоретические основы методики организации режимной сети мониторинга региональных природно-технических систем // Известия высших учебных заведений. «Геология и разведка». 2009. №5. С. 56–62.
9. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н. Научные основы методики организации режимной сети мониторинга природно-технических систем регионального уровня // Известия высших учебных заведений. «Геология и разведка». 2009. №3. С. 45–50.
10. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А. Объективная оценка устойчивости геологической среды к техногенным взаимодействиям и приемы ее корректного картографирования // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 4–14.
11. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика. : учебник / Г.К.Бондарик, В.В.Пендин, Л.А.Ярг. – М.: КДУ, 2007. – 440 с.
12. Бондарик Г.К. Инженерно-геологические изыскания. : учебник / Г.К.Бондарик, Л.А.Ярг. – М.: КДУ, 2007. – 424 с.
13. Бондарик Г.К. Экологическая проблема и природно-технические системы. – М.: ИКАР, 2004. – 152 с.
14. Бондарик Г.К. Оптимальное функционирование и устойчивость природно-технических систем // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, почвоведения. М.: ВНИИ гидротехники и мелиорации. 1996. С.43–47.
15. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология. 1990. № 5.С. 3–9.
16. Вязкова О.Е. Теория, методология и практика инженерно-геологических исследований природно-археологических систем: дис. ... д-ра геол.-минер. нау :

- 25.00.08 / Вязкова Ольга Евгеньевна. – М., 2016. – 391 с.
17. Вязкова О.Е. Природно-археологические системы: понятие, структура, этапы формирования и функционирования //Изв. Вузов. Геология и разведка. 2015. №6. С. 57– 59.
18. Вязкова О.Е. Роль антропогенного фактора в разрушении памятников археологии //Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Девятой Общероссийской конференции изыскательских организаций. – М.:ООО «Геомаркетинг». 2013. С.182–183.
19. ГОСТ Р 56198–2014 Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2014. 28 с.
20. ГОСТ Р 55945–2014 Общие требования к инженерно-геологическим изысканиям и исследованиям для сохранения объектов культурного наследия. Стандартинформ, 2014. 20 с.
21. ГОСТ 25100–2011 Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2013. – 38 с.
22. ГОСТ 24846–2012 Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2014. –18 с.
23. ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 54 с.
24. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Шидловская А.В. Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований // Сергеевские чтения. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития. Выпуск 6. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геоэкологии и гидрогеологии. (23–24 марта 2006 г.). – М.: ГЕОС, 2004.С. 48–52.
25. Демина Н.В., Королев В.А. Особенности и принципы систематизации историко-культурных литотехнических систем как объектов мониторинга //Тезисы VI Научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». – М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2011.С. 15–17.
26. Демкин И.А. Механизм процесса снижения несущей способности грунтов оснований памятников русской архитектуры / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Демкин Игорь Анатольевич. – М., 2001. – 28 с.
27. Дзекцер Е.С. Мониторинг опасных инженерно-геологических процессов как элемент инженерной защиты и охраны памятников //Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 259–274.
28. Дзекцер Е.С. Мониторинг в системе инженерной защиты памятников от опасных геологических процессов // Сборник тезисов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2000, С. 161–163.
29. Дзекцер Е.С., Никифоров А.А. Типология фундаментов памятников архитектуры и подземные воды // 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад,

2002. С. 165-177.
30. Дмитриев В.В. Инженерно-геологические изыскания и инженерно-технические обследования в обосновании проектов сохранения недвижимых архитектурных памятников истории и культуры // Сборник тезисов 6-го Международного научно-практического Симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2015, С. 12–14.
 31. Дмитриев В.В. Инженерно-геологические и геоэкологические условия сохранения исторических архитектурных комплексов // Геоэкология. 2014. № 1. С. 10–20.
 32. Дмитриев В.В. Мониторинг исторических природно-технических объектов //К 80-летию кафедры инженерной геологии: Сб. трудов //Под редакцией В.В.Пендина. – Сергиев Посад: Патриарший изд.-полиграф. центр, 2013. С.56–57.
 33. Дмитриев В.В., Кугушева И.В. Методика и результаты закрепления грунтов оснований исторических сооружений // Инженерные изыскания. 2009. № 1.С.58–61.
 34. Дмитриев В.В., Зубкова Н.Н. Изучение структуры и свойств оснований исторических сооружений. //Сб. трудов 3-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 8–11 октября 2006 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2008. С. 58–62.
 35. Дмитриев В.В. Экологические условия недвижимых памятников истории и культуры // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2002. №5. С.114–124.
 36. Дудлер И.В. Роль инженерных изысканий в предупреждении и ликвидации критических ситуаций в жизненном цикле строительных объектов. //Сборник докладов конференции «Критические технологии в строительстве». Москва, 28-30 октября 1998г.– Московский государственный строительный университет, 1998. С.132–139.
 37. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Особенности взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений // В кн: Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты. М.: Недра, 1985.С.32–36.
 38. Жигалин А.Д., Локшин Г.П. Опыт количественной оценки техногенного воздействия на геологическую среду // Инженерная геология. 1991. № 6.С. 110–119.
 39. Заботкина Л.В. Особенности организации мониторинга локальных исторических природно-технических систем. //К 80-летию кафедры инженерной геологии: Сб. трудов //Под редакцией В.В.Пендина. – Сергиев Посад: Патриарший изд.-полиграф. центр, 2013. С.135–141.
 40. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России / Под ред. В.Т.Трофимова, Е.А.Вознесенского, В.А.Королева.–М.:КДУ, 2011.– 672с.
 41. Инженерная геология России. Том 2. Инженерная геодинамика территории России /Под ред. В.Т.Трофимова и Э.В.Калинина. – М.:КДУ,2013. – 816 с.
 42. Караулов В.Б., Никитина М.И. Геология. Основные понятия и термины: Справочное пособие. – М.: Ком Книга, 2006. – 152 с.
 43. Кизевальтер Д.С., Рыжова А.А. Основы четвертичной геологии. –М. Недра, 1985. – 173 с.
 44. Кизевальтер Д.С., Раскатов Г.И., Рыжова А.А. Геоморфология и четвертичная геология. – М. Недра, 1981. – 216 с.

45. Кирилло-Белозерский историко-архитектурный и художественный музей-заповедник. – М. Северный паломник, 2004. – 272 с.
46. Кирпичников А.Н., Хлопин И.Н. Великая государева крепость. – Л.1972. – 255 с.
47. Коломенский Н.В. Общая методика инженерно-геологических исследований. – М.:Недра, 1968. – 341 с.
48. Королев В.А., Кузнецова Н.В. Оценка состояния литотехнических систем историко-культурных сооружений при обосновании и проведении их мониторинга // Инженерные изыскания. 2015. № 13. С. 62–69.
49. Королев В. А., Кузнецова Н. В. Инженерно-геологические особенности литотехнических систем культурно-исторических сооружений как объектов мониторинга // Инженерная геология. 2012. № 2. стр. 44–55.
50. Королев В. А., Кузнецова Н.В. Особенности мониторинга историко-культурных литотехнических систем // Сб. трудов 5-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 16–19 октября 2012 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2014. С.93–95.
51. Королев В.А. Мониторинг в инженерной геологии // Российская геологическая энциклопедия. Т.2. М.-СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011.С. 368–369.
52. Королев В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: КДУ, 2007. – 416 с.
53. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М.: Недра, 1978. 263 с.
54. Котлов Ф.В. Город и геологические процессы. – М.: Наука, 1967. 226 с.
55. Котов В.Ю. Инженерно-геологическая типизация исторических природно-технических систем (на примере памятников архитектуры Европейской части России / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Котов Валерий Юрьевич. – М., 2001. – 24 с.
56. Косткин В.А., Косыгин Е.В., Скальный В.С. Некоторые проблемы сохранения архитектурных памятников Древней Руси в изменяющихся гидрогеологических условиях // Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С.56–61.
57. Кочетков И.А., Лелекова О.В., Подъяпольский С.С. Кирилло-Белозерский и Ферапонтов монастыри. – «Теза», 1998. 186 с.
58. Кугушева И.В. Обоснование метода и технологии укрепления оснований исторических сооружений (на примере сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры). / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Кугушева Инна Викторовна. – М., 2016. – 26 с.
59. Кузнецова Н.В. Оценка литотехнических систем зданий, имеющих большое культурно-историческое значение, для обоснования их мониторинга (на примере исторического центра Москвы) / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Кузнецова Наталия Владимировна. – М., 2016. – 28 с.
60. Кузнецова Н.В., Королев В.А. Оценка устойчивости функционирования литотехнических систем, относящихся к зданиям храмов в рамках обоснования их

- мониторинга // Сб. трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 97–99.
61. Купцов А.Г., Романова Е.И. Структура глубинной охранной зоны памятников архитектуры // Геоэкология. 1995. № 4. С.77–81.
 62. Лобазов В.Я., Майоров А. А., Ямбаев Х.К. Геодинамический мониторинг памятников архитектуры Московского Кремля // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 4. С. 92–97.
 63. Лучшева А.А. Практическая гидрология.– Л.: Гидрометеиздат, 1976 г. – 440с.
 64. Международная хартия по консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательных мест // Методика и практика сохранения памятников архитектуры. – М.:1974. С.123-127.
 65. Методические рекомендации по стационарному изучению криогенных физико-геологических процессов./ Науч. ред. С.И.Гречищев и В.Л.Невечеря –М.: ВСЕГИНГЕО, 1979. –72 с.
 66. Михайлов В.В., Чернышев С.Н. Грунтовый массив – среда и основание инженерных сооружений. //Сергеевские чтения. Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. (21–22 марта 2014 г.).– М.: РУДН. 2014. С. 189–193.
 67. Невечеря В. В. Специализированная инженерно-геологическая съемка – необходимый метод изучения локальных исторических природно-технических систем Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» – М., 2017 – С. 196–197.
 68. Невечеря В. В. Обеспечение устойчивого функционирования локальных исторических природно-технических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка . 2016 . № 6. С. 60–66.
 69. Невечеря В. В. Исследование влияния процесса подтопления на устойчивость памятников Кирилло-Белозерского музея-заповедника / В. В Невечеря // Материалы VII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». М., 2016, – С.351-354.
 70. Невечеря В. В. Мониторинг исторической природно-технической системы Северо-Двинский водный путь в связи с её реконструкцией / В. В. Невечеря // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Выпуск 17. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии – М.: РУДН. 2015. – С. 508–512.
 71. Невечеря В. В., Подборская В.О. Анализ опыта изучения влияния процесса криогенного пучения грунтов на устойчивость элементарных ИПТС Кирилло-Белозерского монастыря / В. В. Невечеря, В. О Подборская // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы – Т., 2015 – С.357–361.
 72. Невечеря В.В. Изучение современного состояния природно-технической системы «Северо-Двинский водный путь» в рамках студенческой научно-исследовательской экспедиции. // VII международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле», Москва, Российский государственный

- геологоразведочный университет, 15-17 апреля, 2014 г.: Материалы конференции/РГГРУ. – Москва.: 2014. С.349–351.
73. Невечеря В.В., Муленков В.С. Ретроспективный анализ изменения инженерно-геологических условий территории Кирилло-Белозерского монастыря. //К 80-летию кафедры инженерной геологии: Сб. трудов //Под редакцией В.В.Пендина. – Сергиев Посад: Патриарший изд.-полиграф. центр, 2013. С.187–188.
74. Невечеря В.В., Подборская В.О. Исторические гидротехнические ПТС – инженерно-геологические аспекты проблемы сохранения и функционирования (на примере Северо-Двинской гидротехнической системы). //Сергиевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты). Молодежная конференция. Выпуск 15. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21-22 марта 2013 г.). – М.: РУДН, 2013. С. 287–290.
75. Невечеря В.В. Изучение исторической природно-технической системы « Северо-Двинский водный путь», этапов ее развития и режима функционирования перед началом реконструкции. // VI международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 15-17 апреля, 2012 г.: Материалы конференции/РГГРУ. – Москва.: 2012. С.157–158.
76. Невечеря В.Л., Подборская В.О. Инженерно-геологические условия Кирилло-Белозерского монастыря и проблема обеспечения оптимального режима функционирования памятников музея // Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 78–84.
77. Невечеря В.Л., Подборская В.О. Инженерно-геологические и геоэкологические аспекты истории функционирования природно-технической системы монастыря // Кириллов // Краеведческий альманах, вып. 3. Вологда: Легия, 1998. С. 132–140.
78. Невечеря В.Л., Подборская В.О. Разработка принципов и создание системы управления режимом функционирования памятников Белозерья (на примере Кирилло-Белозерского монастыря) // Кириллов: Краеведческий альманах. Вып.2. Вологда: ВГПУ, издательство Русь, 1997. С.188–207.
79. Невечеря В.Л., Пашкин Е.М., Подборская В.О. Исследование влияния криогенного пучения на устойчивость памятников архитектуры Русского Севера // Инженерная геология. 1991 . № 6. С.134–144.
80. Невечеря В.Л., Подборская В.О. Принципы организации литомониторинга ансамбля памятников архитектуры Русского Севера (на примере Кирилло-Белозерского монастыря) // Инженерная геология. 1991. № 4. С. 123–132.
81. Никифоров А. А., Дмитриев В.В. Исторические фундаменты как элемент историко-культурного наследия // Сб. трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 91–97.
82. Никифоров А.А. Стратегия оценки устойчивости памятников архитектуры. В кн.: Современные вопросы геологии // Материалы конференции «2-е Яншинские чтения;

- современные вопросы геологии». 2002. С. 405-408.
83. Никифоров А.А. Культурный слой и его значение в сохранении памятников истории и культуры / Автореферат дисс... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Никифоров Андрей Афанасьевич. – М., 1995. – 23 с.
 84. Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты: Учебное пособие. –М.: Изд-во МГУ, 2004 г. –250 с.
 85. Описание строений и имущества Кирилло-Белозерского монастыря 1601 года: Комментированное издание /Сост. З.В.Дмитриева и М.Н.Шаромазов. –СПб.: «Петербургское Востоковедение»,1998.–384 с.
 86. Папин И.В. Археологические исследования в церкви Кирилла в Кирилло-Белозерском монастыре.// Кириллов // Краеведческий альманах, вып. 3. Вологда: Легия, 1998. С. 1–16.
 87. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. – СПб.: ПИ «Геореконструкция». 2013. –333 с.
 88. Пашкин Е.М. Место инженерно-геологической диагностики в инженерной реставрации памятников архитектуры // Инженерные изыскания. 2013. № 7.С. 44–51.
 89. Пашкин Е.М. Изучение отражения взаимодействий элементов исторических систем при диагностике деформаций памятников архитектуры // Геоэкология. 2010. № 4.С. 360–366.
 90. Пашкин Е.М., Белова Г.С. О сохранении памятников архитектуры в условиях техногенеза // Инженерные изыскания. 2010. № 6. С. 28–34.
 91. Пашкин Е.М., Багмет А.Л., Осика В.И., Новак Ю.В., Сухов А.А. Мониторинг деформаций как основа безопасной эксплуатации зданий и сооружений // Инженерная геология. 2008. № 3.С. 40–50.
 92. Пашкин Е.М. Инженерно-геологический аспект реставрации памятников архитектуры // Геоэкология. № 4. 2005.С. 351–361.
 93. Пашкин Е.М., Подборская В.О., Нефёдов С.Л. Результаты исследования причин деформаций крепостной стены Нового города от Кузнечной до Вологодской башни в 2000-2001 г. г. //Кириллов: Краеведческий альманах. Вып.5.– Вологда: «Легия», 2003. С.185–196.
 94. Пашкин Е.М., Подборская В.О. Исследование нижних частей несохранившейся угловой башни Кирилло-Белозерского монастыря //Археологические вести. 2003. №10. С.164–169.
 95. Пашкин Е.М., Панкратов А.В., Кувшинников В.М., Бондарев М.В., Ануфриев А.А. Особенности эволюционных изменений контакта фундамент-грунт церкви Вознесения в Коломенском // Геоэкология. № 4. 2003.С. 328–334.
 96. Пашкин Е.М., Кувшинников В.М., Пономарев В.В. и др. Методологические основы инженерно-геологического изучения состояния памятников архитектуры // Известия высших учебных заведений. « Геология и разведка».2002. № 5. С.84–96.
 97. Пашкин Е.М., Подборская В.О., Назаренко А.В. Причины деформации крепостных стен Кирилло-Белозерского монастыря – анализ, факты, гипотезы //Изв. Вузов. Геология и разведка. 2001. №1. С.156–158.
 98. Пашкин Е.М. Ретроспективный анализ разрушений сооружений храмовой архитектуры – важнейший аспект их диагностики и инженерной защиты. // Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года.

- Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 227–232.
99. Пашкин Е.М., Ануфриев А.А., Кувшинников В.М. и др. Высолы и инженерно-геологические аспекты их формирования на памятниках архитектуры // Геоэкология. 1998. № 4.
100. Пашкин Е.М., Кувшинников В.М.: Никифоров А.А., Пономарев В.В. Природа формирования дефицита несущей способности и специфика инженерной защиты памятников архитектуры // Геоэкология. 1996. № 6. С. 3–17.
101. Пашкин Е.М., Дзекцер Е.С., Никифоров А.А. Мониторинг культурного слоя как элемента геологической среды // Геоэкология. 1995. № 1. С. 123–128.
102. Пашкин Е.М., Вязкова О.Е. Роль инженерной геологии в сохранении историко-культурного наследия // Вестник Российской академии наук. Т.63. 1993. № 4. С. 326–331.
103. Пашкин Е.М., Домарёв О.В., Никифоров А.А. Инженерно-геологический аспект проблемы сохранения древних оборонительных сооружений // Геоэкология. 1993. № 4. С. 117–125.
104. Пашкин Е.М. Синергетика геосистем.: новый подход в инженерной геологии / / Инженерная геология. 1992. № 6. С. 11–14.
105. Пашкин Е.М., Бессонов Е.Б. Диагностика деформаций памятников архитектуры. – М.: Стройиздат, 1984. – 151 с.
106. Пендин В. В., Невечеря В.В. Структура локальных исторических природно-технических систем // Материалы XII общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий В строительстве в Российской Федерации» – М., 2016 –
107. Пендин В.В., Заботкина Л.В., Подборская В.О., Невечеря В.В. Системы мониторинга локальных исторических природно-технических систем (ИПТС) – как основа мероприятий по долговременному сохранению объектов культуры // Геоэкология. 2016. № 1. С. 81–93.
108. Пендин В.В., Заботкина Л.В., Подборская В.О. Классификация исторических природно-технических систем как основа методического подхода к изучению и сохранению памятников истории и культуры // Сб. трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 31–33.
109. Пендин В.В., Заботкина Л.В., Подборская В.О. Предложения по классификации исторических природно-технических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2012. № 3. С. 56–62.
110. Пендин В.В., Подборская В.О., Дубина Т.П. Применение основных положений концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов для сохранения памятников архитектуры (на примере Успенского собора в Кирилло-Белозерском музее-заповеднике) // Геориск. 2010. № 4. С. 4–18.
111. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии: учебное пособие / В.В. Пендин. – М.: КДУ, 2009. – 350 с.
112. Пендин В.В., Подборская В.О., Курманенко С.А. Детальная типизация инженерно-геологических условий – основа для принятия управляющих решений при реставрации памятников архитектуры сложной структуры (на примере Успенского собора и крепостных стен Кирилло-Белозерского музея-заповедника) // Сб. трудов 3-

- го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 8–11 октября 2006 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2008. С. 30–31.
113. Пендин В.В., Бабанаква С.Л. Концепция раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2002. № 5. С. 123–127.
114. Пендин В.В., Сереброва О.В. О концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов // Материалы конференции «Риск - 2000». – Москва, 2000. С. 425–428.
115. Печкина Л.В. От наблюдений за состоянием памятников Ростовского кремля к комплексному мониторингу // Сб. трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 166–168.
116. Подборская В.О., Невечеря В.В. Обобщение результатов режимных наблюдений за процессом криогенного пучения грунтов на территории Кирилло-Белозерского музея-заповедника // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 6. С. 60–66.
117. Подборская В.О., Невечеря В.В. Аспекты применения ретроспективного анализа при изучении элементарных и локальных исторических природно-технических систем. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 15-17 апреля, 2015 г.: Материалы конференции в 2 т.: доклады. – Т.2/РГГРУ. – Москва.: 2015. С.284–285.
118. Подборская В.О., Нефёдов С.Л. Изучение влияния особенностей строения Успенского холма на устойчивость церкви Введения и Трапезной палаты в Кирилло-Белозерском монастыре. // Склоны на исторических территориях: Материалы VII Международного научно-практического семинара «Комплексное изучение и сохранение исторических территорий». Рязань, Рязанский историко-архитектурный музей-заповедник, 26-30 апреля 2004/ Под ред. Е.И.Романовой. – Рязань: Изд-во Рязанского историко-архитектурного музея-заповедника, 2006. – С.67–77.
119. Подборская В.О. Проблемы определения пространственно-временных характеристик, видов и объема режимных сетей мониторинга исторических природно-технических систем // Изв. Вузов. Геология и разведка. 2001. № 5. С.105–108.
120. Подборская В.О. Исследование инженерно-геологических причин деформаций памятников русской архитектуры: дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.08/Подборская Валерия Олеговна. – М. 1988. – 216 с.
121. Подземная охранная зона исторической территории Рязанского кремля/ Под ред. Е.И.Романовой и А.Г.Купцова – Рязань: Стиль, 1995. – 140с.
122. Пономарев В.В., Кувшинников В.М. Оценка параметров инженерно-геологических процессов в исторических природно-технических системах // Геоэкология. 2003. № 2. С. 153–159.
123. Порфирьев Б.Н. Риск как научная и правовая категория // Вопросы анализа риска. 1999. Вып. 2-4. С. 4-8.
124. Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона (Северо-Запад России). Материалы международного симпозиума. – М.: ГЕОС, 2000. – 99 с.

125. Реставрация памятников архитектуры: учебное пособие для вузов./ С.С.Подъяпольский, Г.Б.Бессонов и др. Под общ. ред. С.С.Подъяпольского. –М.: Стройиздат, 1988.– 264 с.
126. Романова Е.И. Основные положения концепции комплексного изучения исторических территорий. //Сб. трудов 2-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2003 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2005. С. 47–55.
127. Романова Е.И, Купцов А.Г., Заботкина Л.В., Панков А.М., Белова Г.С., Горчаков В. А. Оценка инженерно-геологических условий митрополичьего двора Ростовского кремля для разработки подземной охранной зоны // Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 105–111.
128. Романова Е.И., Купцов А.Г. и др. Концепция подземной охранной зон исторических территорий музеев-заповедников// Изв. Вузов. Геология и разведка. 2002. № 5. С.
129. Романова Е.И. Комплексный подход к изучению и сохранению исторической территории Рязанского кремля //Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 101–105.
130. Романова Е.И, Купцов А.Г. Мониторинг природно-технической системы исторической территории Рязанского кремля //Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 282–284.
131. Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. –М.: Недра, 1987. –408с.
132. Скальный В.С. Реконструкция, защита от подтопления и стабилизация гидрогеологической среды фундаментов древних памятников архитектуры и истории. –Орел.: ОрелГАУ, 2003. –206 с.
133. Скальный В.С., Косыгин Е.В. Проблемы сохранения, причины разрушения и первичное обследование недвижимых памятников архитектуры и истории.– Орел.: ОрелГАУ, 2003.– 200 с.
134. Скупинова Е.А., Максимова Н.К. Очерки природы национального природного парка «Русский Север»//Кириллов: Краеведческий альманах. Вып.3. Вологда: Издательско-производственный центр «Легия», 1998. С.201–232.
135. Смирнов И.А. Кирилло-Белозерский монастырь в 1764–1924 годах. Краткий очерк развития хозяйства // Кириллов: Краеведческий альманах. Вып.2. Вологда: ВГПУ издательство Русь, 1997. С.52–76.
136. Смирнов И.А. История Северо-Двинской водной системы. (Канал герцога Виртембергского) // Кириллов: Краеведческий альманах. Вып.1. Вологда: издательство Русь, 1994. С.100–117.
137. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*, 166 с.
138. СРП 2007.5 Рекомендации по правилам ведения научно-исследовательских (инженерно-геологических работ) по функционированию исторических природно-технических систем. 19 с.
139. СРП-2007.6 Рекомендации по комплексным инженерно-техническим исследованиям объектов культурного наследия (памятников истории и культуры). Здания и

- сооружения. 41 с.
140. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии/ Сост. Е.М.Пашкин, А.А.Каган, Н.Ф.Криваногова; Под ред. Е.М.Пашкина. – М.: КДУ, 2011. – 952 с.
141. Трофимов В.Т. Актуальные вопросы геологического обоснования управления эколого-геологическими системами //Тр. межд. науч. конф. «Актуальные вопросы инженерной и экологической геологии» / Под ред. В.Т. Трофимова, В. А. Королева. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 235–238.
142. Трофимов В.Т. О мониторинге геологических, литотехнических и эколого-геологических систем //Тр. межд. науч. конф. «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем»/Под ред. Трофимова В.Т., Королева В. А. –М.: Изд-во МГУ. 2007. С.7–13.
143. Трофимов В.Т. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза.– М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.
144. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Е. Экологическая геология: Учебник. –М.: Изд-во МГУ, 2002.– 414с.
145. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Лисюк М.Б. Комплексный подход к вопросу спасения деформированных дворцовых комплексов и церквей. //Сб. трудов 2-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2003 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2005. С. 193–208.
146. Чернышёв С.Н. Инженерно-геологические проблемы г.Голгофа на о.Анзер Соловецкого архипелага в Белом море.// Сб. трудов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 14–16 сентября 2015 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2016. С. 137–144.
147. Чернышёв С.Н. Комплексные инженерные изыскания на памятнике архитектуры – церкви Спаса Нерукотворного в музее Абрамцево.// Инженерная геология. 2008. № 2. С. 66–68.
148. Чернышёв С.Н. Инженерно-геологические условия, фундаменты и грунтовые сооружения Свято-Троицкого, Серафимо-Дивеевского женского монастыря//Вестник МГСУ.2009. №1. С.77–85.
149. Чернышёв С.Н. Основные особенности изыскательских и реставрационных работ по основаниям и фундаментам православных храмов.// Сб. трудов 2-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2003 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2005. С. 16–21.
150. Чернышёв С.Н., Чернышёв Н.С. Конструктивные и стилевые особенности храмовой архитектуры как отражение природных условий строительства.// Сб. трудов 1-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». 7–11 октября 2000 года. Московская Патриархия Троице-Сергиева Лавра. – Сергиев Посад, 2002. С. 144–150.
151. Шаромазов М., Тарунов А. Великая северная твердыня // Памятники Отечества. Иллюстрированный альманах Всероссийского общества охраны памятников истории и культуры. Вып.30.1993.№№3–4.С.60–70.

152. Ярг Л.А., Иерусалимская Е.Н. Стратегия организации мониторинга региональной природно-технической системы //К 80-летию кафедры инженерной геологии: Сб. трудов //Под редакцией В.В.Пендина. – Сергиев Посад: Патриарший изд.-полиграф. центр, 2013. С.68–102.
153. Armesto J., Arias P., Roca J. and Lorenzo H. Monitoring and Assessing Structural Damage in Historic Buildings, *The Photogrammetric Record*, Volume 23, Issue 121, 2008, pp 36-50
154. Arias P., Herraез J., Lorenzo H. and Ordonez C. Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods. *Computers and Structures*, 83(21/22), 2005: 1754-1766.
155. *Geotechnical Engineering for the preservation of Monuments and Historical sites*. Editors Bilotta E., Flora A., Lirer S., Viggiani C. Taylor & Francis Group, 2013, 793 p.
156. Glisic B., Inaudi D., Posenato D., Figini A., Casanova N. Monitoring of heritage structures and historical monuments using long-gage fiber optic interferometric sensors - an overview. The 3rd International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure Vancouver, British Columbia, Canada, 2007, <http://www.smartec.ch/content/download/908/7317/file/c175.pdf>
157. Inaudi D., Casanova N. & Glisic B., Long-term deformation monitoring of historical constructions with fiber optic sensors // 3rd International Seminar on structural analysis of historical constructions, Guimaraes, Portugal, 2001. P 421-430.
158. Meisina C., Zucca F., Fossati D., Ceriani M., Allievi J. Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy) // *Engineering Geology*. Volume 88. Issues 3-4. 15 December 2006. P. 240-259.
159. Taylor C., Alley W. Ground-water-level Monitoring and the Importance of Long-term Water-level Data. U.S. Geological Survey, 2001, 70 p
160. Pingue F., Petrazzuoli S.M., Obrizzo F., Tammaro U., De Martino P., Zuccaro G. Monitoring system of buildings with high vulnerability in presence of slow ground deformations (The Campi Flegrei, Italy, case) // *Measurement*. Volume 44. Issue 9. November 2011. P. 1628-1644
161. Prochazka J., Zalesky J., Jirikovsky T., Salak J. Long-term stability monitoring in the Prague castle area // *Acta Geodyn. Geomater.*. Vol. 7. 2010. No. 4 (160). P. 411-429.
162. Sternberg, H., 2006. Deformation Measurements at Historical Buildings with the Help of Three-dimensional Recording Methods and Two-dimensional Surface Evaluations // 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, Baden. Austria.
163. Walton T. Methods for monitoring the condition of historic places. Department of conservation technical series, <http://www.doc.org.nz/documents/science-and-technical/docts27.pdf>

Фондовая литература

164. Вологодский трест инженерно-строительных изысканий. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям. Объект: Кирилло-Белозерский монастырь в г. Кириллове. Заказ № В-2257. Вологда, 1988 г.
165. ЗАО «Инженерная консультационная компания» "СОВИНТЕРВОД". Рабочий проект дренажных мероприятий на территории Успенского собора Кирилло-Белозерского монастыря. Рабочий проект. Москва, 2007.
166. Ленинградская комплексная геологоразведочная экспедиция. (ЛКГЭ). Отчет о

- комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50000 для мелиоративного строительства в Кирилловском и Белозерском районах Вологодской области. Авторы: Шебестова Е.А., Гей В.П., Возняк Ю.Р. 1985 г.
- 167.Московский государственный геологоразведочный институт. Отчет о научно-исследовательской работе. Исследование инженерно-геологических причин деформаций и физико-механического состояния памятников архитектуры Кирилло-Белозерского музея-заповедника. Договор № 101/87. Москва, 1988 г.
- 168.Московский государственный геологоразведочный институт. Отчет по научно-исследовательской теме: «Исследование инженерно-геологических причин деформаций памятников архитектуры Кирилло-Белозерского музея-заповедника». Договор № 101/88. Москва, 1989 г.
- 169.Московский государственный геологоразведочный институт. Отчет по научно-исследовательской теме: «Исследование закономерностей режима функционирования и разработка принципов создания системы управления устойчивостью грунтовых оснований памятников Кирилло-Белозерского музея-заповедника.» Договор № 101/89. Москва, 1990 г.
- 170.Московская государственная геологоразведочная академия (МГГА). Инженерно-геологическое изучение грунтов основания и оценка режима функционирования памятников Кирилло-Белозерского монастыря. Москва, 2001г.
- 171.Московский государственный геологоразведочный университет (МГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе. Исследование структуры сферы взаимодействия исторической ПТС «Памятники Кирилло-Белозерского монастыря (стены Нового города, ц. Введения) - геологическая среда» для обоснования выбора управляющих решений и оценки режима функционирования. Отчет о НИР. МГГРУ 2003.
- 172.Московский государственный геологоразведочный университет (МГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе: «Разработка модели инженерно-геологического строения территории Кирилло-Белозерского музея-заповедника для обоснования концепции устойчивости архитектурного ансамбля». Договор №100/2003. Москва, 2004г.
- 173.Московский государственный геологоразведочный университет (МГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе: «Научно-методическое сопровождение функционирования системы мониторинга исторической природно-технической системы Кирилло-Белозерского музея-заповедника.» МГГРУ, 2004.
- 174.ООО «ИГИТ». «Разработка научно-проектной документации для реставрации крепостных стен и башен XVI века Ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря» по адресу: Вологодская область, г. Кириллов, Кирилло-Белозерский музей-заповедник. Раздел II.Комплексные научные исследования. Часть 3. Инженерные исследования. Технический отчет. Договор №2064/14. Москва, 2015г.
- 175.ООО «ИГИТ». «Разработка проектной документации для ремонтно-реставрационных работ на объекте культурного наследия федерального значения Ансамбль Кирилло-Белозерского монастыря (Вологодская область, г. Кириллов). Вологодская башня» Раздел II. Комплексные научные исследования, Часть 4. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания Технический отчёт. Договор № 2138/15 г. Москва, 2015 г.
- 176.ООО «ИГИТ». «Разработка проектной документации для ремонтно-реставрационных работ на объекте культурного наследия федерального значения

- Кирилло-Белозерского монастыря. Церковь Иоанна Лествичника (1569-1572 г.г.), Святые врата (1523).» по адресу: Вологодская область, г. Кириллов. Раздел II. Комплексные научные исследования. Часть 5. Обследование фундаментов и грунтов основания. Технический отчёт. Договор № 2137/15 г. Москва, 2015 г .
- 177.ООО «ИГИТ». Объект культурного наследия федерального значения «Ансамбль Кирилло-Белозерского монастыря, XV - XVII вв.» Стены Нового города (1653-1669, 1675-1680). Раздел II. Комплексные научные исследования. Часть 7. Обследование фундаментов и грунтов основания. Технический отчет. Договор №2212/16. Москва, 2016 г.
- 178.ООО «ИГИТ». Объект культурного наследия федерального значения «Ансамбль Кирилло-Белозерского монастыря, XV - XVII вв.» Большие больничные палаты (1643-1644 г.). Научно-проектная документация для производству работ по сохранению объекта культурного наследия. Раздел II. Комплексные научные исследования. Часть 5. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания. Технический отчёт. Договор № 2212/16 г. Москва, 2016 г.
- 179.ООО «ИГИТ». Объект культурного наследия федерального значения «Ансамбль Кирилло-Белозерского монастыря, XV - XVII вв.» Московская башня (1660 г.). Научно-проектная документация для производству работ по сохранению объекта культурного наследия. Раздел II. Комплексные научные исследования. Часть 5. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания Технический отчёт. Договор № 2212/16 г. Москва, 2016 г .
- 180.Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследование инженерно-геологических условий Успенского холма для реализации концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов в основании комплекса Успенского собора ансамбля Кирилло-Белозерского монастыря». Отчет о НИР, 2005.
- 181.Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ). Отчет о научно-исследовательской работе: «Научно-методическое сопровождение мониторинга отдельных элементарных ИПТС в Кирилло-Белозерском музее-заповеднике. Отчет о НИР, 2006.

Электронные ресурсы

- 182.Государственная стратегия формирования системы достопримечательных мест, историко-культурных заповедников и музеев-заповедников в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная программа министерства Культуры Российской Федерации (ред. от 23.09.2008) Режим доступа: <http://mkrf.ru/upload/iblock/781/7813930b3b65b56e8b1794f64adc6151.doc>
- 183.Грицюк В. Под сенью «северной лавры» [Электронный ресурс] // Грицюк В. // Режим доступа: http://www.worlds.ru/europe/russia/history-pod_senju_severnojj_lavry.shtml
- 184.Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ (ред. от 07.03.2017) Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-25062002-n-73-fz-ob/>
- 185.Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2016 года [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ) Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/bul_dr/mun_obr2016.rar