

На правах рукописи

КУГУШЕВА ИННА ВИКТОРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА И ТЕХНОЛОГИИ
УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
(на примере сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры)**

**Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

**Москва
2016**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ

Научный руководитель: **Дмитриев Виктор Викторович**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, профессор кафедры инженерной
геологии МГРИ-РГГРУ им. Серго
Орджоникидзе

Официальные оппоненты: **Чернышев Сергей Николаевич**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, профессор кафедры инженерной
геологии и геоэкологии ФГБОУ ВО НИУ МГСУ

Снежкин Борис Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель главного инженера по инженерным
изысканиям АО МОСОБЛГИДРОПРОЕКТ

Ведущая организация: Федеральное Государственное унитарное
предприятие Всероссийский научно-
исследовательский институт гидрогеологии и
инженерной геологии (ФГУП «ВСЕГИНГЕО»)

Защита диссертации состоится _____ 2016 г. в ____ часов в ауд. ____ на
заседании диссертационного совета Д 212.121.01 при Российском
государственном геологоразведочном университете имени Серго
Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-
Маклая, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского
государственного геологоразведочного университета имени Серго
Орджоникидзе.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
организации, просьба направлять по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-
Маклая, д. 23 Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, ученому секретарю диссертационного совета Д
212.121.01. Телефон: +7(495) 433-65-44.

Автореферат разослан _____ 2016г.

**Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.121.01, доктор геолого-
минералогических наук, доцент**

С.Д. Ганова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность работы. Длительная эксплуатация исторических сооружений в изменяющихся природных, техногенных и социальных условиях практически всегда сопровождается их деформациями. Одной из наиболее существенных причин деформаций сооружений является ослабление фундаментов, обусловленное ухудшением свойств строительных материалов, связующего элементов фундамента, грунтов оснований. Результаты 20-ти летнего мониторинга деформаций храмов, башен, оборонительных стен, келейных корпусов и др. сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры (СТСЛ) подтверждают эту закономерность. Поэтому проведение реставрационных работ, направленных на сохранение архитектурных памятников истории и культуры, как правило, начинается с укрепления их фундаментов и грунтов оснований.

Методы усиления оснований исторических зданий и сооружений весьма разнообразны. На их выбор влияют принципы и критерии реставрации, состав и качество строительных материалов, современный уровень технических решений в области сохранения памятников, специфика инженерно-геологических, конструктивных, функциональных условий исторического сооружения. Для укрепления грунтов оснований и фундаментов архитектурных памятников используются в основном два направления: свайные технологии и инъецирование специально подобранными растворами.

Инъекционный метод усиления грунтов наиболее адекватен реставрационной идеологии. В то же время, он минимально изменяет структуру и свойства сферы взаимодействия сооружения с геологической средой, являющейся производной исторического развития - «исторической памятью» геологической среды.

Целью работы является обоснование метода и технологии укрепления оснований исторических сооружений, применительно к историческим сооружениям СТСЛ.

При выполнении работы решали следующие задачи:

- исследование инженерно-геологических условий СТСЛ;
- анализ конструктивных особенностей фундаментов исторических сооружений СТСЛ и их состояние;
- изучение теоретических основ инъекционного метода укрепления грунтов;
- типизация инженерно-геологических условий исторических зданий и сооружений СТСЛ по условиям инъекционного укрепления их оснований;
- разработка проектных технологических решений инъекционного укрепления оснований исторических сооружений;
- оценка качества метода и технологии закрепления грунтов оснований исторических сооружений СТСЛ.

Методы исследования. Для достижения цели работы и решения поставленных задач выполнили обзор накопленных сведений об инъекционном методе и, используемых при его реализации технологических решений. Собрали, систематизировали и проанализировали данные об инженерно-геологических условиях зданий и сооружений СТСЛ. Построили карты распространения, мощности различных генетических типов грунтов на территории СТСЛ. Провели натурные обследования конструктивных особенностей фундаментов сооружений. Выполнили инженерно-геологические изыскания и исследования для оценки свойств, строения, состояния, состава грунтов оснований исторических сооружений. Провели зондирование грунтов оснований сооружений. Организовали комплексный мониторинг параметров процессов на территории СТСЛ, получили, обобщили и выполнили анализ результатов мониторинга до, в процессе и после укрепления оснований сооружений, охватывающего период с 1996 по 2015 гг.

Научная новизна работы состоит в:

- оценке инженерно-геологических условий СТСЛ, в т. ч. условий залегания и свойств техногенных отложений и других генетических образований, выявлении условий формирования подземных вод и оценки их влияния на грунты основания исторических сооружений;
- реконструкции палеогеографических условий СТСЛ;
- получения новых сведений об особенностях строения фундаментов ряда исторических сооружений СТСЛ;
- типизации инженерно-геологических условий исторических сооружений СТСЛ, обеспечивающей эффективное закрепление их оснований;
- выборе методики и технологии укрепления оснований зданий и сооружений Лавры;
- использовании мониторинга деформаций сооружений СТСЛ для оценки качества укрепления их оснований.

Основные защищаемые научные положения:

1. Совместное использование результатов оценки инженерно-геологических условий, инженерно-технических исследований исторических сооружений, а также мониторинга технического состояния позволяет выделить литотехнические системы (ЛТС) «историческое сооружение - геологическая среда» и эффективный вариант технологии укрепления основания, обеспечивающей уменьшение изменений ЛТС до безопасных величин.

2. Специфические особенности ЛТС СТСЛ показали, что оптимальным технологическим решением по их укреплению является сочетание вертикального и горизонтального инъецирования, позволяющего оптимизировать использование фильтрационной, разрывной и уплотнительной типов инъекции и обеспечить получение ЛТС с заданными

свойствами. Реализация оптимальных технологических решений, разработанных при укреплении ЛТС СТСЛ, позволяют стабилизировать их деформации до безопасных величин.

3. Результаты комплексного мониторинга деформаций исторических сооружений СТСЛ до, в процессе и после закрепления их оснований позволяет оценить эффективность выполненного укрепления их оснований, определить направленность и время реализации дальнейших реставрационных мероприятий.

Достоверность и обоснованность научных разработок, итогов полевых и лабораторных исследований, эффективности произведённых работ подтверждаются результатами контрольных испытаний качества закрепления грунтов оснований ряда ЛТС СТСЛ методом вертикального и горизонтального зондирования, а также данными мониторинга деформаций исторических сооружений.

Практическая значимость работы. Получены новые данные об инженерно-геологических условиях СТСЛ и особенностях строения оснований и фундаментов, позволяющие типизировать их по условиям укрепления методом инъектирования. Разработаны варианты технологии закрепления различных оснований исторических сооружений СТСЛ методом инъектирования. Реализованы проекты укрепления фундаментов и грунтов оснований сооружений СТСЛ. Выполнена оценка деформаций сооружений СТСЛ до, в процессе и после укрепления их оснований. Даны рекомендации, необходимые для дальнейшей реставрации сооружений.

Личный вклад автора:

1. Сбор и анализ материалов технического обследования, мониторинга деформаций и изучения инженерно-геологических условий исторических сооружений на территории СТСЛ.
2. Натурные исследования конструкций зданий, фундаментов и грунтовых оснований исторических сооружений СТСЛ для выбора метода, обоснования и разработки технологии их закрепления.
3. Типизация инженерно-геологических, литотехнических условий, ряда исторических сооружений СТСЛ применительно к разработке технологии закрепления оснований.
4. Разработка совместно с сотрудниками Патриаршего архитектурно-реставрационного центра на основе метода «Геокомпозит» «Методики укрепления оснований зданий и сооружений Лавры» г. Сергиев Посад, 2013, согласованной Министерством культуры Российской Федерации Департаментом контроля, надзора и лицензирования в сфере культурного наследия 24.07.2013 г. № 35-12.1-03.
5. Участие в работах по закреплению грунтов оснований исторических сооружений СТСЛ.

6. Анализ результатов мониторинга деформаций исторических сооружений до, в процессе и после закрепления.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях и симпозиумах: Научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, МГГРУ, 2004); VII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2005); Научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2006); VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2007); Научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2008); IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2009); 2-ом (Сергиев Посад, 2003), 3-ем (Сергиев Посад, 2008), 4-ом (Сергиев Посад, 2009), 5-ом (Нижний Новгород, 2012) и 6-ом (Сергиев Посад, 2015) Международных научно-практических симпозиумах «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси».

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 16 публикациях (статьи в журналах, тезисы и доклады на научных конференциях), в том числе 3 статьи в журналах, входящих в Перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы из 108 наименований. Работа изложена на 168 страницах машинописного текста, включает 107 рисунков и 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, приведены защищаемые положения, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

Глава 1. Характеристика объектов культурного наследия Свято-Троицкой Сергиевой Лавры

Свято-Троицкая Сергиева Лавра — крупнейший монастырь России, расположенный в центре города Сергиев Посад Московской области. Монастырь мужской, основан в 1337 году преподобным Сергием Радонежским. На протяжении столетий Свято-Троицкая Сергиева Лавра является одной из самых почитаемых российских православных святынь, крупнейшим центром духовного просвещения и культуры.

Архитектурный ансамбль Свято-Троицкой Сергиевой Лавры включен в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

За столетия на территории Свято-Троицкой Сергиевой Лавры сложился уникальный ансамбль разновременных построек, включающий более пятидесяти зданий и сооружений различного назначения. В основном, они представляют собой жесткие кирпичные крестово-купольные, линейные, высотные и другие конструкции, не обладающие пространственной жесткостью и поэтому чувствительные даже к небольшим неравномерным деформациям основания (рис. 1).

Конструкции фундаментов сооружений, набор строительных материалов, технология и состав материалов, использованных при строительстве для укрепления грунтов основания, для каждого сооружения различны. Они подбирались индивидуально, исходя из инженерно-геологических условий участка, на котором возводилось сооружение, его конструктивных особенностей, архитектурных предпочтений времени строительства.



Рис.1. Архитектурный ансамбль Свято-Троицкой Сергиевой Лавры

На территории Лавры инженерно-геологические изыскания под конкретные сооружения в разные годы были выполнены многими организациями: Мосгоргеотрест, Военморгражданпроект, Мособлгеотрест, Гипростанок, Союзкурортпроект, МГРИ - РГГРУ, МГСУ, ГСПИ, ПАРЦ СТСЛ.

Ансамбль Свято-Троицкой Сергиевой Лавры расположен на левобережном склоне реки Кончуры, являющимся водоразделом между рекой Кончурой и ручьем Вондуга. Речные долины огибают Лавру с трех сторон: севера, запада и юга, создавая выгодные оборонительные условия. Первоначальный рельеф участка в результате строительства и перестройки зданий и сооружений Лавры, а также строительства на прилегающей территории монастыря, сильно изменился.

В геоморфологическом отношении территория приурочена к Клинско-Дмитровской моренно-эрозионной возвышенности и расположена на первой и второй надпойменных террасах левого берега реки Кончуры.

Основные сооружения Лавры – Московская Духовная Академия, Успенский собор, Колокольня, Троицкий Собор, Казначейский корпус, Трапезный храм располагаются на водоразделе, поверхности и склоне второй надпойменной террасы, которая возвышается над урезом реки Кончуры на 12-14 м.

В геологическом строении занимаемого Лаврой участка залегают разнообразные по составу и свойствам отложения четвертичной и меловой системы. Комплекс четвертичных отложений распространен повсеместно и представлен почвенно-растительным слоем, техногенными грунтами (tQ_{IV}), грунтами, измененными в условиях естественного залегания под весом

сооружения, покровными (prQ_{III}), аллювиально-флювиогляциальными ($a-fQ_{II}$), моренными (gQ_{II}) и флювиогляциальными (fQ_{II}) отложениями.

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории, характеризуются наличием вод верховодки и водоносных горизонтов, приуроченных к аллювиально-флювиогляциальным и меловым отложениям.

На исследуемой территории наблюдаются: изменения состава, состояния, структуры и свойств грунтов, неравномерная осадка, поднятие и наклон сооружений. На интенсивность и направленность этих процессов влияют: исходный состав, строение и свойства грунтов; режим вод верховодки; особенности деструкции деревянных свай-коротышей, забитых в основание практически каждого сооружения для повышения и выравнивания по величине несущей способности основания, различная экспозиция отдельных сторон сооружения и, соответственно, различная инсоляция (тенивая или солнечная сторона); конструктивные особенности сооружения и, в частности, его фундаментов, условия его функционирования и т. п.

Сооружения Свято-Троицкой Сергиевой Лавры находятся в тесной взаимосвязи с окружающей природной и социальной средой. Следствиями их воздействия являются явно выраженные, четко фиксируемые результатами мониторинга изменений высотного положения около 200 стенных реперов, визуальные признаки деформаций.

Достаточно часто причиной деформаций исторических сооружений являются изменения инженерно-геологических условий. Изменчивыми являются компоненты водного баланса природной среды. Изменяется количество атмосферных осадков, инфильтрационный и поверхностный сток и, соответственно, меняются уровневые режимы верховодки и грунтовых вод. Одновременно появляются новые источники подземных вод за счет утечек из водопроводных, отопительных, канализационных систем, изменений уклонов дневной поверхности, образующихся бессточных участков. Следствием изменений компонентов водного баланса исторических территорий являются, как правило, ухудшение свойств фундаментов и грунтов оснований сооружений, намокание нижних участков стен, их разрушение при промерзании, появление биопоражений.

Анализ многолетних наблюдений за колебаниями уровней воды верховодки в скважинах пробуренных на территории монастыря позволил определить основные закономерности ее распространения (рис. 2).

Негативное влияние на состояние сооружений оказывает происходящее естественным путем увеличение мощности техногенных отложений.

Насыпные грунты на территории Лавры выдержаны неравномерно. Их мощность изменяется от 0,9 до 7,2 м. Увеличение мощности происходит от центра монастыря к крепостным стенам во всех направлениях (рис.3).

Для повышения несущей способности основания строители, следуя рекомендациям итальянских архитекторов, использовали различные приемы технической мелиорации. Грунты оснований сооружений они уплотняли путем забивки в них деревянных, дубовых, лиственничных, сосновых свай-коротышей. В СТСЛ, как правило, использовали дубовые сваи.

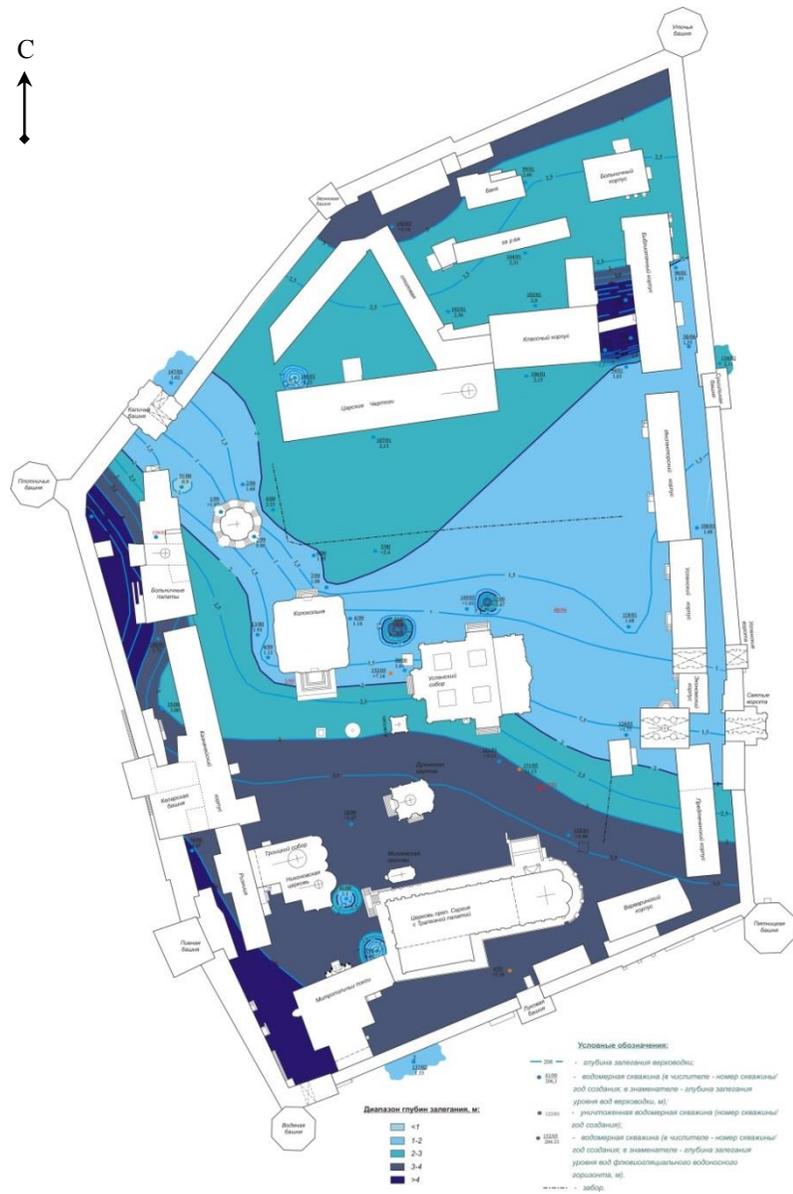


Рис. 2. Карта глубин залегания верховодки на территории СТСЛ



Рис. 3 Карта мощности насыпных отложений на территории СТСЛ

Итальянскими архитекторами указывались точные соотношения длины и диаметра свай по отношению к размерам сооружений. Встреченные размеры свай на территории Лавры изменялись от 0,6 до 3,5 метров в длину и от 8 до 35 см в диаметре. Расстояния между центрами свай варьировались от 0,1 до 0,80 метров. Несущая способность грунтов оснований сооружений после забивки свай повышалась, а главное, становилась равномерной по всей площади основания фундамента. Однако со временем, вследствие биохимических процессов, условий аэрации, инженерно-геологических условий деревянные сваи сгнивали или, наоборот, превращались в мореный дуб.

Интенсивность изменения свойств и состояния свай является непостоянной величиной, зависящей от условий их существования, а именно: от изменений инженерно-геологических, гидрогеологических и гидрогеохимических условий, от изменений температурно-влажностного режима древесины и вмещающих грунтов, от особенностей контакта свай с фундаментами, от типа, возраста и свойств дерева, из которого изготавливалась свая, и других.

На территории Свято-Троицкой Сергиевой Лавры условия деструкции деревянных свай весьма различны. Для большинства сооружений они неблагоприятны для сохранения древесины, т.к. в основании сооружений, как правило, отсутствуют грунты и подземные воды, способные сыграть роль защитного буфера от внешнего воздействия. В таких условиях защищенность подземных деревянных конструкций весьма низкая и поэтому деструкция свай проходила здесь сравнительно с высокой скоростью.

Там, где основанием сооружений являются покровные суглинки, сохранность свай зависит от их свойств, состояния и мощности. Если мощность суглинков больше длины забитых свай, то в этих местах, слабо пропускающие воду суглинки, хорошо удерживают воду и сваи хорошо сохранились.

Мощность покровных суглинков выдержана на территории Лавры неравномерно, она изменяется от 1 до 4,5 м (рис.4).

Ухудшение свойств фундаментов и грунтов оснований сооружений, связанное с гниением деревянных свай, изменением свойств грунтов основания, как показали исследования, являются одной из наиболее существенных причин деформаций сооружений Лавры. Как следствие, исторические сооружения испытывают длительные неравномерные осадки.

Результаты наблюдений за деформациями сооружений, выполненные в последние два десятилетия, показали для отдельных сооружений Лавры, таких как Трапезный Сергиевский храм, Казначейский корпус, Успенский собор, Южная и Западная оборонительные стены и некоторых др. наличие сравнительно сложных деформационных процессов.

Среднегодовые деформации Трапезного Сергиевского храма по периметру здания до укрепления основания были неравномерными. Осадка юго-западного угла Трапезной достигала 2,85 мм/год.

Похожая картина выявлена и для Успенского собора, южная сторона которого оседала с большей скоростью, чем северная. Средняя скорость осадки юго-западного угла храма составляла около 2 мм/год, а скорость осадки северо-восточного угла собора не превышала 0.5 мм/год.

В Казначейском корпусе максимальные осадки, достигающие 3,2 мм/год, развивались в центральной части сооружения.

Наличие опрокидывающего момента выявили для части Западной стены, примыкающей к Плотничьей башне. Похожая ситуация наблюдается и у Южной стены для прясла, расположенного между Водяными воротами и Луковой башней. По результатам мониторинга имеет место небольшое оседание Южной стены при движении от Луковой башни к Пятницкой башне.

Осадки меньшей величины, но также систематического характера отмечаются и на некоторых других сооружениях.

Для понимания причин образования деформаций перечисленных выше сооружений Лавры детально рассмотрели условия их строительства, конструктивные особенности, инженерно-геологические условия в которых они находятся, структуру свайных полей в основании фундаментов определяющие структуру ЛТС.

Результаты оценки инженерно-геологических условий исторических сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры позволили типизировать основания сооружений по условиям деформирования. Признаками, используемыми для расчленения основания сооружения, по величине и скорости деформирования, являются: разновидность слоя грунта в основании сооружения, мощность этого слоя, наличие и состояние деревянных свай (табл. 1, рис. 5).

Таблица 1

Типизация условий укрепления оснований сооружений на территории СТСЛ

Разновидность грунта в основании сооружения	Мощность слоя грунта в основании сооружения	Наличие, состояние свай	Сооружение
А - песчаный	II - > 2м	2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	Трапезный храм; Успенский собор
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлювием)	Казначейский корпус; Северная и Западная оборонительные стены; Плотничья и Келарская башни.
Б - глинистый	I - < 2м	1 – деревянные сваи, сгнившие < 50% (разложение оголовков и по периметру на остаточной длине свай);	Западная оборонительная стена, Успенский собор
		2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	Трапезный Сергиевский храм, Казначейский корпус
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлювием)	Трапезный Сергиевский храм
	II - > 2м	1 – деревянные сваи, сгнившие < 50% (разложение оголовков и по периметру на остаточной длине свай);	Трапезный Сергиевский храм, Южная оборонительная стена, Водяная и Пятницкая башня
4 – свай нет		Библиотечный корпус МДА	
В – древнетехногенный грунт	I - < 2м	2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	Трапезный Сергиевский храм, Казначейский корпус
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлювием)	Казначейский корпус

Глава 2. Укрепление оснований объектов культурного наследия Свято-Троицкой Сергиевой Лавры.

Приемы усиления оснований и фундаментов в настоящее время концептуально разделяются на следующие направления:

- 1) упрочнение конструктивной системы фундаментов;
- 2) применение свай при усилении оснований и фундаментов;
- 3) закрепление (инъекционирование) грунтов оснований

Среди мероприятий, позволяющих реализовать концепцию по восстановлению несущей способности грунтов основания и уменьшению деформируемости грунтов в пределах зоны взаимодействия сооружения, общим признанием специалистов является инъекционный метод усиления грунтов оснований.

Инъекционный метод усиления грунтов, в отличие от свайных технологий, наиболее адекватен реставрационной идеологии, минимально изменяет структуру и свойства сферы взаимодействия исторического сооружения с геологической средой, подземным пространством, которое так же, как и сооружение, является производной исторического развития его взаимодействия с геологической средой.

Применение водоцементного раствора при инъекционировании грунтов является достаточно экономичным и не требует сложного оборудования, а также экологически безопасным для окружающей среды. Образующиеся после схватывания алюмосиликатные соединения, содержащиеся в портландцементе, аналогичны природным.

Теоретические и практические основы метода инъекционирования цементным раствором отражены в трудах многих авторов: Абелева Ю.М., Адамовича А.А., Алласа Э.Э., Безрука В.М., Веденева Б.Е., Гончарова Л.В., Камбефора А., Лушников В.В., Мельникова Б.Н., Осипова В.И., Ребиндера П.А., Филимонова С.Д. и многие другие.

Исходя из общетеоретических представлений, на эффективность закрепления грунтового основания влияют:

- свойства инъектируемого водоцементного раствора (тонкость помола цемента, его химический и минеральный состав, размеры доз и состав добавок, плотность, вязкость раствора и др.);

- свойства закрепляемой среды (гранулометрический состав, пористость, структурные особенности и др.);

- технологические условия нагнетания (давление, скорость подачи раствора, взаиморасположение нагнетаемых инъекторов, размеры пауз и др.).

В процессе инъекционирования закрепление грунтов основания, как отмечает Воронкевич С.Д. (2005 г.), происходит в результате различных видов взаимодействия раствора с грунтовым основанием сооружения (рис. б). Как правило, оно развивается по трем взаимно дополняющим друг друга схемам (модификациям): инъекция с пропиткой грунта раствором (фильтрационная инъекция), разрывная инъекция и уплотняющая инъекция.

Различие схем воздействия весьма условно, поскольку не бывает только пропитывание или разрывы, или уплотнение. Обычно эти процессы реализуются избирательно самопроизвольно или принудительно посредством определенной комбинации технологических приемов. Они сочетаются с преобладанием того (или тех) из них для развития которого (или которых) имеют место наиболее благоприятные условия, зависящие от типа грунта, его структуры, состояния, физико-механических свойств и др.

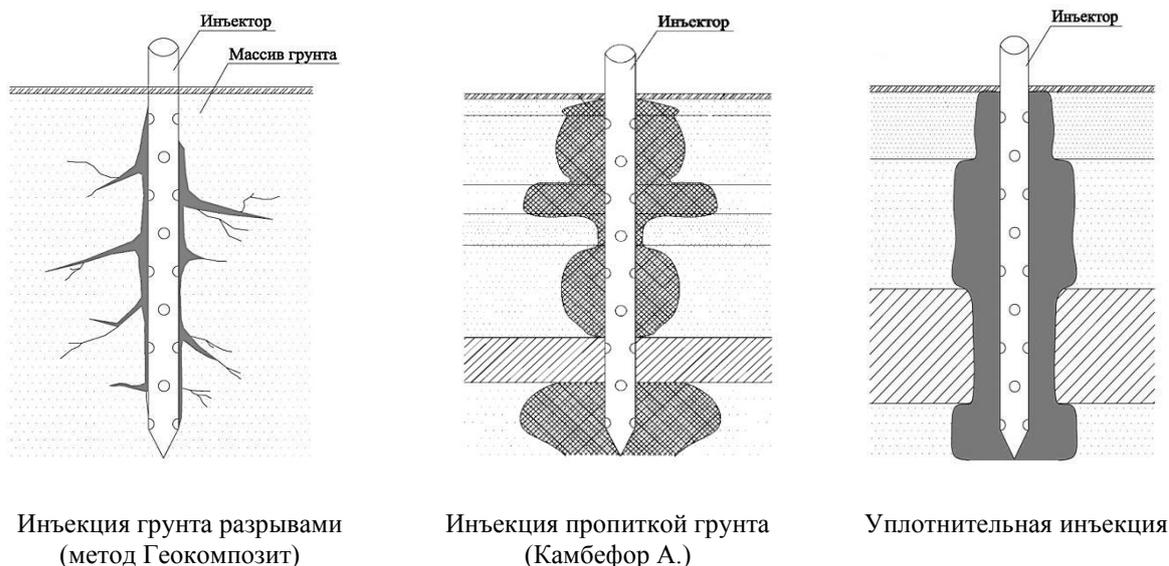


Рис.6. Виды взаимодействия водоцементного раствора с грунтовым основанием сооружения

Разрывная инъекция представляет собой нагнетание суспензионного раствора с разрывом сплошности грунта. Режим разрыва реализуется при давлении инъекции раствора, превышающем прочность грунта.

В грунтовом массиве происходит образование искусственных трещин и рассечений грунта, в основном вдоль природных ослабленных зон: плоскостей напластования, слоев грунта в текучем и текучепластичном состоянии, песчаных и техногенных рыхлых грунтов, которые заполняются инъекционным раствором.

Инъекция с пропиткой грунта представляет собой радиально-сплошную пропитку инъеклируемого грунта водоцементным раствором без разрушения структуры грунта. При таком виде взаимодействия раствора с грунтом заполняются пустоты, трещины и макропоры грунта.

Уплотнительная инъекция основана на принципе смещения грунта радиально от точки инъекции за счет внедрения некоторого объема твердеющего раствора и уплотнения окружающего грунта. При этом происходит перераспределение плотности в активной зоне и снижение показателя пористости.

В результате реализации того или иного механизма воздействия инъеклируемого раствора на грунтовое основание наблюдается снижение водопроницаемости, увеличение прочности и несущей способности грунтов,

изменение их физического состояния (плотности, влажности, распределения напряжений).

Наличие сведений и теоретических расчетов применимости различных видов инъецирования позволяет разработать оптимальную схему инъецирования грунтов оснований зданий и сооружений (табл. 2).

Для предотвращения дальнейших деформаций Трапезного Сергиевского храма, Казначейского корпуса, Успенского собора, Южной, Западной и Северной крепостных стен, а также башен Водяной, Пятницкой и Плотничьей были выполнены работы по закреплению грунтов оснований и фундаментов сооружений методом горизонтального инъецирования в период 2004-2014 гг.

На основе метода «Геокомпозит» была разработана методика укрепления оснований зданий и сооружений Лавры. Проектирование работ по укреплению Трапезного Сергиевского храма и Казначейского корпуса выполнялась ООО ПИ «ГОРПРОЕКТ-1» совместно с ПАРЦ СТСЛ. Проекты укрепления остальных сооружений разрабатывались ПАРЦ СТСЛ.

Закрепление проводится из специально оборудованных шурфов, пройденных вдоль фундамента сооружения до его основания, где выполняется инъецирование в горизонтальном направлении под подошвой фундамента веерным и параллельным способом с применением не извлекаемых инъекторов (рис. 7). При необходимости горизонтальное инъецирование комбинируется с вертикальным и (или) наклонным.

Вертикальное инъецирование выполняется с поверхности земли или пола по периметру внутренних и внешних стен сооружений. Это позволяет обжать фундамент с двух сторон и тем самым увеличить площадь опоры фундамента на грунты основания и их несущую способность.

Наклонное инъецирование применяется для укрепления сильно разрушенных фундаментов, имеющих большие полости, в результате выщелачивания и вымывания межвалунного заполнителя. Наклонные скважины бурятся через тело фундамента с поверхности земли.

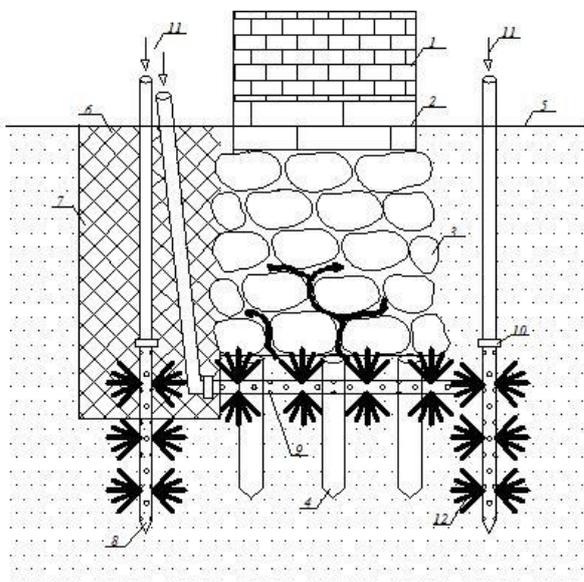


Рис.7. Технологическая схема закрепления грунтового основания исторического сооружения: 1 – кирпичная стена; 2 – цоколь; 3 – валунный фундамент; 4 – сгнившая свая; 5 – поверхность земли; 6 – шурф; 7 – засыпка шурфа; 8 – вертикальный инъектор; 9 – горизонтальный инъектор; 10 – пакер; 11 – нагнетание цементного раствора; 12 – распространение цементного раствора

Таблица 2

Разновидность грунта в основании сооружения	Мощность слоя грунта в основании сооружения	Наличие, состояние свай	Вид инъекции	Давление нагнетани, МПа	В/Ц	Добавка к раствору
А - песчаный	II - > 2м	2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	<i>Фильтрационная</i> (заполнение раствором полостей от сгнивших свай) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение грунта вокруг инъектора и стенок полостей при заполнении их раствором)	0,4-0,5	0,8-1	Бентонит (2-5% от веса сухого цемента)
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлюиём)	<i>Фильтрационная</i> (проникание раствора в проницаемые для раствора слои песка) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение грунта вокруг инъектора)			
Б - глинистый	I - < 2м	1 – деревянные сваи, сгнившие < 50% (разложение оголовков и по периметру на остаточной длине свай);	<i>Фильтрационная</i> (заполнение раствором полостей от сгнивших свай) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение стенок полостей при заполнении их раствором) <i>Разрывная</i> (вдоль природных ослабленных зон)	0,5-0,6	0,5-0,6	Без добавок
		2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	<i>Фильтрационная</i> (заполнение раствором полостей от сгнивших свай) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение стенок полостей при заполнении их раствором) <i>Разрывная</i> (вдоль природных ослабленных зон)			
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлюиём)	<i>Разрывная</i> (вдоль природных ослабленных зон)			
	II - > 2м	1 – деревянные сваи, сгнившие < 50% (разложение оголовков и по периметру на остаточной длине свай);	<i>Фильтрационная</i> (заполнение раствором полостей от сгнивших свай) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение стенок полостей при заполнении их раствором) <i>Разрывная</i> (вдоль природных ослабленных зон)			
		4 – свай нет	<i>Разрывная</i> (вдоль природных ослабленных зон)			
В – древнетехногенный грунт	I - < 2м	2 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, образование открытых полостей);	<i>Фильтрационная</i> (заполнение раствором полостей от сгнивших свай, проникание раствора в проницаемые для раствора слои грунта) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение грунта вокруг инъектора и стенок полостей при их заполнении раствором) <i>Разрывная</i> (вдоль ослабленных зон)	0,3-0,4	0,6-0,8	Жидкое стекло (1-2% от веса сухого цемента)
		3 – деревянные сваи, сгнившие >50%, (разложение свай, полости заполнены грунтом и инфлюиём)	<i>Фильтрационная</i> (проникание раствора в проницаемые для раствора слои грунта) <i>Уплотнительная</i> (уплотнение грунта вокруг инъектора) <i>Разрывная</i> (вдоль ослабленных зон)			

Технология горизонтального инъецирования позволяет, в зависимости от структуры свайного поля и состояния свай, располагать инъекторы требуемой длины в один или два уровня на любой глубине под фундаментом сооружения.

В результате применения горизонтального инъецирования полости от сгнивших деревянных свай заменяются цементно-каменными фрагментами, заполняются цементным раствором снизу вверх трещины и полости в фундаментах, уплотняются грунты основания и увеличивается площадь опоры фундаментов; замедляются биохимические процессы разрушения свай.

Эффективность горизонтально погружаемых инъекторов была подтверждена в результате опытно-производственных работ, выполненных на площадке Трапезного Сергиевского Храма. Использовали три опытных участка с разными инженерно-геологическими условиями, на которых отработали конфигурацию расположения и количество инъекторов, длину, расстояние между инъекторами, давление нагнетания.

Данный метод позволяет создать под фундаментом сооружения уплотненный слой грунта, армированный металло-цементно-каменно-грунтовыми включениями, несмотря на различные инженерно-геологические условия и конструктивные особенности деформированных сооружений.

Основание Успенского собора было закреплено горизонтальным инъецированием в два яруса. Первый ярус инъекторов располагался непосредственно под подошвой фундамента, второй – в нижележащих песчаных грунтах. Использование такой технологии объясняется тем, что в основании выявлено неравномерное разрушение свай. Разрушению подверглись оголовки свай и нижняя часть свай в песчаных грунтах. В процессе уплотнения грунтов основания строители пробивали слой покровных суглинков и забивали сваи в аллювиально-флювиогляциальные пески. Попав в зону активного воздушного и водного обмена, нижняя часть сваи быстро подверглась разрушению (рис. 8).

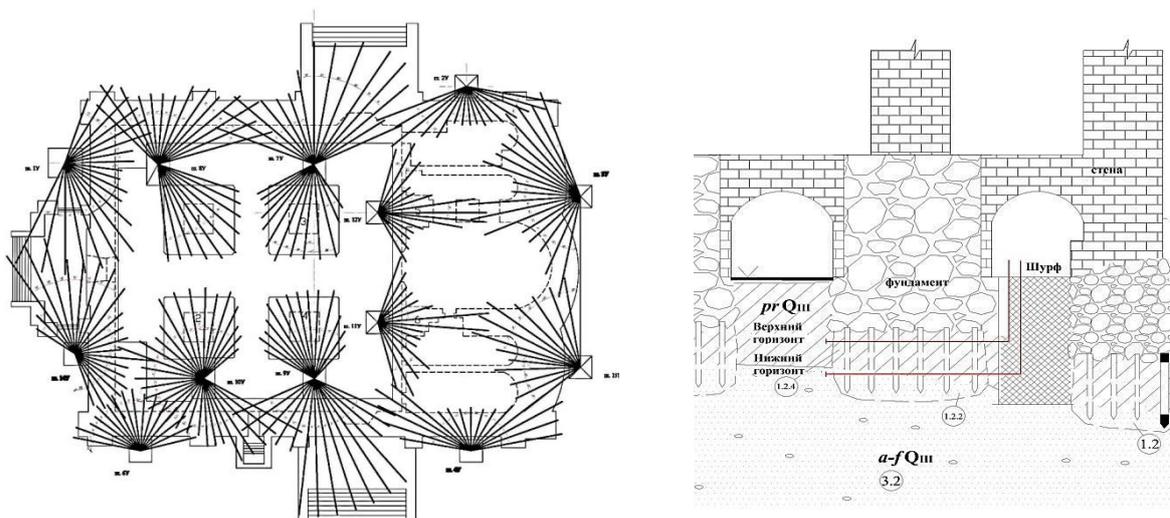


Рис. 8. Схема расположения горизонтальных инъекторов в основании Успенского собора

В Трапезном храме и Казначейском корпусе горизонтальное инъецирование было дополнено вертикальным, с целью обжатия фундамента с двух сторон.

Укрепление основания библиотечного корпуса МДА проведено с целью повышения несущей способности грунтов основания в связи с увеличением нагрузки на фундаменты и грунты основания здания, вследствие планируемого расширения объема книгохранилища. Проектом предусматривалось создание усиленного массива непосредственно под подошвой фундамента с использованием двух уровней горизонтально погружаемых инъекторов.

Укрепление грунтов оснований Водяной, Пятницкой и Плотничьей башен выполнялось с применением горизонтального, вертикального и наклонного инъецирования, где скважины бурятся с поверхности через тело фундамента. Необходимость в использовании наклонного инъецирования связано с тем, что в фундаментах башен имеются большие полости в результате выщелачивания или вымывания межвалунного заполнителя, фундамент имеет большую глубину заложения.

Работы по укреплению фундаментов и грунтов оснований оборонительных Южной, Западной и Северной стен выполнялись с применением вертикального, горизонтального и наклонного инъецирования. Вертикальное инъецирование выполнялось вдоль внешней и внутренней стороны стен, горизонтальное инъецирование выполнялось из шурфов, пройденных вдоль оборонительных стен с внешней стороны, так как с внутренней стороны залегают техногенные насыпные грунты мощностью 3-7 м. Наклонное инъецирование было применено для части Западной стены от Келларской до Плотничьей башни. Для данной части стены выявили наличие опрокидывающего момента в сторону склона. Проектным решением было предложено наклонное бурение и последующее инъецирование сквозь тело фундамента с внедрением в нижезалегающие грунты.

Глава 3. Контроль и оценка качества закрепления оснований объектов культурного наследия Свято-Троицкой Сергиевой Лавры

Контроль состояния и эффективности закрепления оснований зданий и сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры выполнялся путем целенаправленной обработки результатов мониторинга природно-технического состояния сооружений Лавры. Обобщали и анализировали результаты геодезических измерений высотного положения стенных реперов, стационарных наблюдений за развитием трещин по стенным маякам, визуального обследования фундаментов и грунтов основания в шурфах, горизонтального и вертикального зондирования.

Анализ полученных данных позволил оценить состояние сооружений, оптимизировать проектные решения, направленные на их закрепление, и

сделать выводы о качестве и эффективности выполненного закрепления грунтов оснований исторических сооружений Лавры.

Геодезические наблюдения за осадочными марками, установленными на стенах Трапезного Храма, Успенского собора, Казначейского корпуса и других сооружений позволили осуществить контроль за вертикальными перемещениями конструктивных элементов этих сооружений до, в процессе и после укрепления их оснований. Для каждого сооружения были построены схемы величин и скоростей их высотных смещений.

Выполненные работы показали, что скорости деформаций рассматриваемых сооружений после закрепления их оснований существенно уменьшились. Деформации различных частей сооружений стали равномерными или прекратились.

Так, скорости осадок Трапезного Храма до закрепления основания (1996-2004 гг.) изменялись от 0,1-0,4 мм/год в северо-восточной части до 2,9 мм/год в юго-западной части (рис.9). После закрепления грунтов основания в установившийся период основная часть сооружения испытывает осадку менее 0,5 мм/год (рис.10).

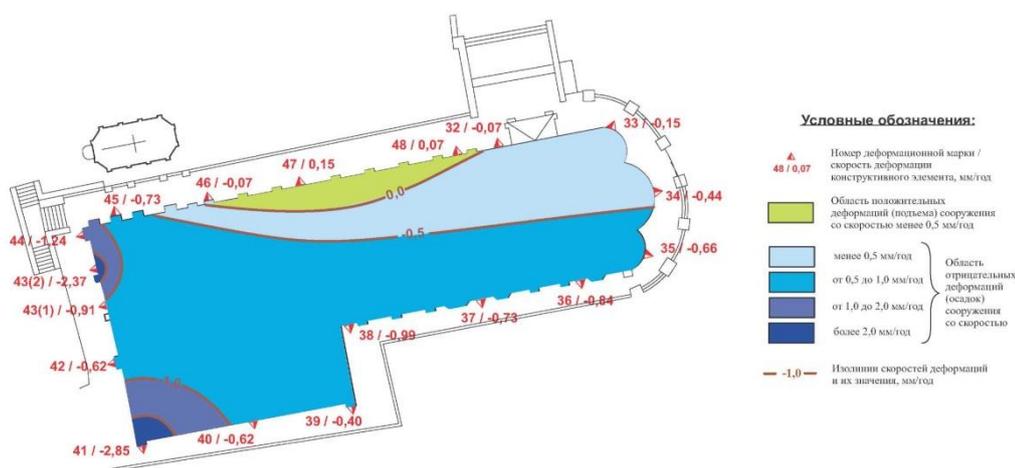


Рис. 9. Схема деформаций конструктивных элементов Трапезного Сергиевского Храма до закрепления основания



Рис. 10. Схема деформаций конструктивных элементов Трапезного Сергиевского Храма в установившийся период после закрепления основания

Скорости деформаций Успенского Собора до закрепления основания (1996-2010 гг.) составляли от 0,5 мм/год в северной до 2 мм/год в южной части сооружения (рис. 11). После закрепления грунтов основания в установившийся период на основной части сооружения деформации не наблюдаются, за исключением небольших участков, где ее величина составляет менее 0,5 мм/год (рис. 12).



Рис. 11. Схема деформаций конструктивных элементов Успенского собора до укрепления основания

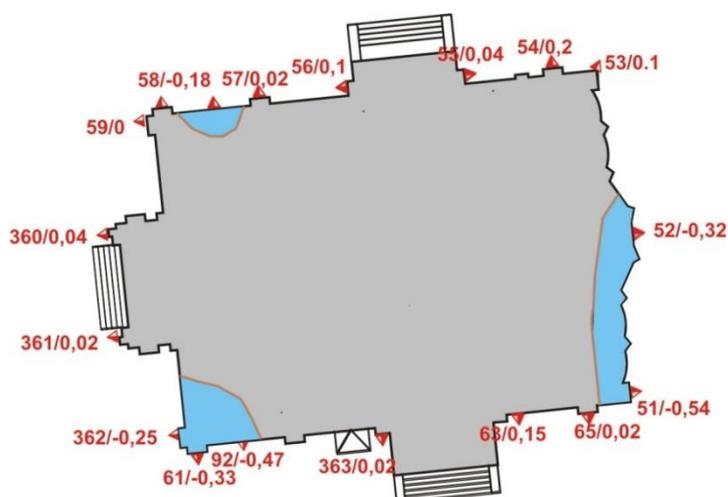


Рис. 12. Схема деформаций конструктивных элементов Успенского собора после укрепления основания

Деформации Казначейского корпуса до укрепления его основания (1996-2005 гг.) были неравномерными. Максимальные осадки (1,0-3,2 мм/год) развивались в центральной части сооружения. Скорости деформаций в северной и южной частях Казначейского корпуса составляли от 0,1 до 0,7 мм/год (рис.13). Скорости деформаций Казначейского корпуса после закрепления грунтов основания в установившийся период уменьшились, и на основной части сооружения составляют менее 0,5 мм/год (рис.14).

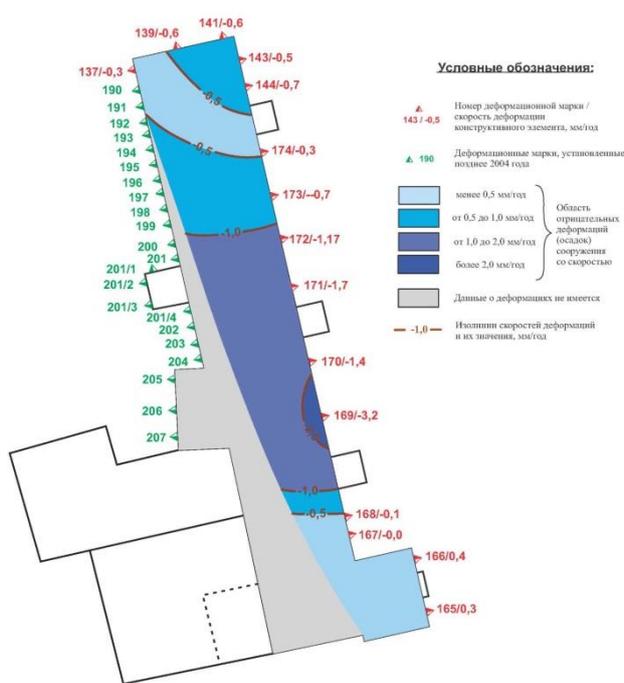


Рис.13. Схема деформаций конструктивных элементов Казначейского корпуса до закрепления основания

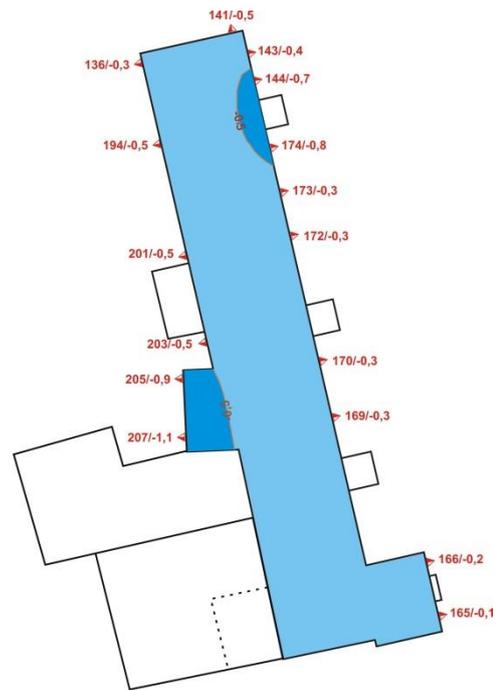


Рис. 14. Схема деформаций конструктивных элементов Казначейского корпуса после закрепления основания

Инженерно-геодезические наблюдения обеспечивают информацией, на основе которой можно своевременно выявить начало опасного деформационного процесса, что позволяет оперативно разработать мероприятия по устранению нежелательных явлений.

Проходка проверочных шурфов после закрепления грунтов основания и визуальное обследование в них является наиболее эффективным методом изучения состава и состояния грунтов основания, фундаментов, степени и качества заполнения полостей от сгнивших свай цементным раствором, их размеров (рис.15). Проверочные шурфы проходят на глубину не менее 1.0 м ниже подошвы фундамента.

Изучение структуры свайного поля, свойств и состояния грунтов основания исторического сооружения до и после инъекционного закрепления производится с помощью ручных зондов РЗГ-2, РЗГНС, РЗГД-3, для глубокого горизонтального или наклонного статического и динамического зондирования грунтов.

Ручной зонд в соответствии с ГОСТ 19912-2001, СП 11-105-97, МДС 11-17.2004 предназначен для определения угла внутреннего трения, сцепления, модуля деформации грунта, показателя текучести глинистого грунта.

Из шурфов, пройденных ниже подошвы фундамента сооружения, выполняется веерное или параллельное горизонтальное статическое или динамическое зондирование грунтов основания с отбором или без отбора исследуемого материала (грунт, дерево, цементный камень).

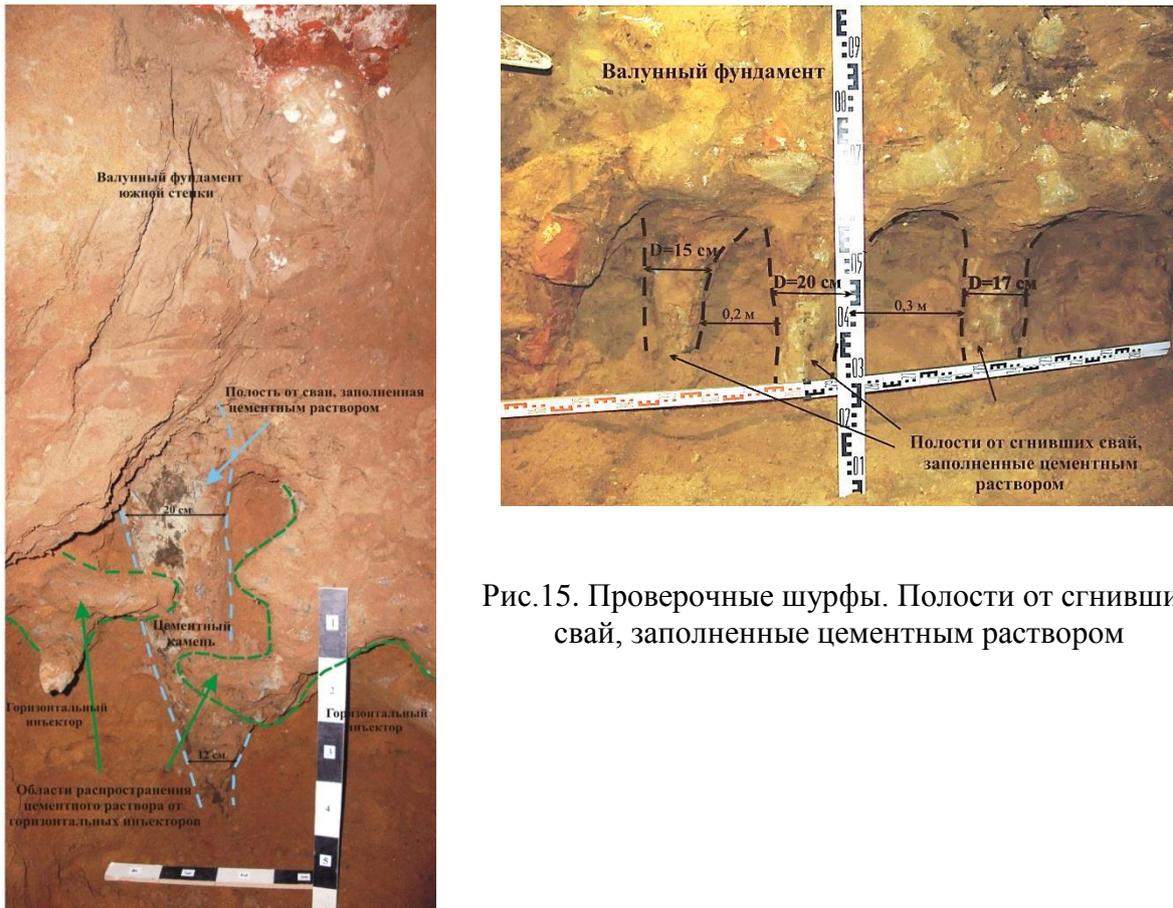


Рис.15. Проверочные шурфы. Полости от сгнивших свай, заполненные цементным раствором

Изменяя углы наклона зондирования и прокладывая их «веерообразно», исследуемый объем грунтового основания можно расширить до необходимых пределов.

По графикам, построенным по результатам испытаний грунтов выполненных до закрепления грунтов основания, хорошо просматриваются участки, свидетельствующие о наличии ослабленных зон, пустот от частично или полностью сгнивших деревянных свай. Проекция на план сооружения трас зондирования выявляют параметры свайного поля, схему забивки, средний диаметр свай, расстояния между ними.

Зондирование, выполненное после инъекционного закрепления в проверочных шурфах, позволяет оценить свойства закрепленного основания сооружения, выявить, заполнились ли пустоты от сгнивших свай цементным раствором, отследить распространение цементного камня в грунтах основания, а также сравнить полученные результаты зондирования с данными, собранными до закрепления грунтов (рис. 16).

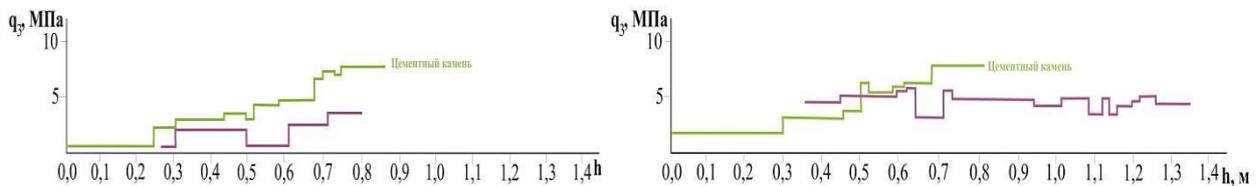


Рис.16. Результаты горизонтального статического зондирования до и после укрепления грунтов основания Трапезного храма

Заключение

Основные научные и практические результаты диссертационной работы позволили следующее.

1. Дополнить и обобщить сведения об инженерно-геологических условиях Свято-Троицкой Сергиевой Лавры, в частности:
 - построить карту фактического материала, полученного для Лавры и прилегающих территорий;
 - выполнить палеогеографическую реконструкцию части территории Лавры с построением карты первоначального рельефа;
 - построить карту изолиний высот современного рельефа Лавры;
 - уточнить особенности литологического состава и условий залегания различных генетических типов отложений;
 - построить основные инженерно-геологические разрезы через территорию Лавры, характеризующие условия залегания грунтов;
 - построить карту мощности техногенных отложений и оценить их влияние на состояние сооружений;
 - построить карту мощности покровных отложений и оценить влияние мощности слоя на сохранность деревянных свай в основании сооружений Лавры;
 - определить значения показателей свойств грунтов и выделить в разрезе геологических отложений Лавры 25 инженерно-геологических элементов;
 - построить карту глубин распространения вод верховодки на территории Лавры;
 - исследовать режим грунтовых вод, а также нижележащих аллювиально-флювиогляциального и мелового водоносных горизонтов;
 - для отдельных исторических сооружений определить структуры и состояния свайных полей в грунтах оснований сооружений.
2. Исследовать направления и величины деформаций многих исторических сооружений Лавры.
3. Определить причины деформаций ряда исторических сооружений Лавры.
4. Используя методы горизонтального и вертикального зондирования грунтов выявить структуру свайных полей в основании ряда сооружений Лавры и состояние деревянных свай.
5. Рассчитать для ряда оснований сооружений Лавры величины потенциальной и фактической свайной пустотности.
6. Определить свойства межсвайных целиков грунта и их пространственную изменчивость.
7. Выполнить типизацию инженерно-геологических условий ряда оснований исторических сооружений Лавры, обеспечивающую их эффективное укрепление.
8. Провести анализ методов укрепления оснований и фундаментов

- исторических сооружений и определить оптимальный вариант метода.
9. Выполнить анализ особенностей фильтрационного, разрывного и уплотняющего типов воздействия инъекционного метода укрепления грунтов оснований сооружений Лавры.
 10. Рассчитать графики зависимости давления разрыва от типа грунта и глубины инъецирования.
 11. Рассчитать зависимости коэффициента фильтрации K_f грунта (м/сут) от водоцементного отношения (В/Ц) раствора и коэффициента проницаемости K_n (дарси).
 12. Рассчитать зависимость объема раствора, инъецируемого в песчаные грунты, от длины инъектора (на примере Трапезного Сергиевского Храма).
 13. Разработать и реализовать технологические схемы укрепления грунтов оснований ряда исторических сооружений Лавры.
 14. Выполнить контроль качества укрепления оснований исторических сооружений методом инъецирования с помощью ручных зондов РЗГ-2, РЗГНС, РЗГД-3 для глубокого горизонтального или наклонного статического и динамического зондирования грунтов.
 15. Разработать структуру системы пунктов получения информации о деформациях исторических сооружений лавры.
 16. Организовать и использовать мониторинг деформаций сооружений лавры для оценки качества реализованных управляющих решений, обеспечивающих закрепление грунтов оснований исторических сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры, и дальнейшее совершенствование методов закрепления.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в журналах, входящих в Перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ:

1. Кугушева И.В. Инженерно-геологические условия фильтрационной инъекции водоцементного раствора при закреплении песчаных грунтов в основаниях исторических сооружений // Изв. вузов Геология и разведка. 2008. №4. С. 85-88.
2. Кугушева И.В. Восстановление несущей способности грунтов основания Казначейского корпуса в Свято-Троицкой Сергиевой Лавре // Изв. вузов Геология и разведка, 2008, №5. С. 73-75.
3. Дмитриев В.В., Кугушева И.В. Укрепление грунтов основания исторических сооружений // Изв. вузов Геология и разведка. 2013. №2. С. 55-62.

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

4. Дмитриев В.В., **Кугушева И.В.** Методика и результаты закрепления грунтов оснований исторических сооружений // Инженерные изыскания. 2009. №1. С. 58-61.
5. **Кугушева И.В.** Оценка качества закрепления грунтов основания Трапезной Троице-Сергиевой Лавры. Сборник тезисов докладов Научной конференции «Молодые – наукам о Земле». М.: МГГРУ, 2004. С. 33-34.
6. **Кугушева И.В.**, Тихонкина М.В. Причины деформаций и инженерно-геологические условия закрепления основания Казначейского корпуса Свято-Троицкой Сергиевой Лавры. Сборник докладов VII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М.: 2005. С.84.
7. **Кугушева И.В.** Инженерно-геологические основы закрепления оснований исторических сооружений по методу «Геокомпозит». Сборник тезисов докладов Научной конференции «Молодые – наукам о Земле». М.: 2006. С. 132.
8. **Кугушева И.В.** О влиянии инъецирования цементными растворами на свойства грунтов оснований исторических сооружений. Сборник докладов VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М.: 2007.
9. **Кугушева И.В.** Влияние деформаций деревянных свай на технологию закрепления оснований исторических сооружений. Материалы Научной конференции «Молодые – наукам о Земле». М.: 2008. С. 130.
10. Дмитриев В.В., **Кугушева И.В.** Инженерно-геологические условия деформаций сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры. Сборник докладов IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М.: 2009.
11. Дмитриев В.В., **Кугушева И.В.**, Заботкина Л.В., Маркова Н.Б., Зубкова Н.Н. Оценка структуры и свойств оснований исторических сооружений. Сборник тезисов 2-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Сергиев Посад: 2003. С. 80-82.
12. Осипов В.И., Дмитриев В.В., Филимонов С.Д., **Кугушева И.В.** Закрепление оснований исторических сооружений методом «Геокомпозит». Сборник трудов 3-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Сергиев Посад: 2008. С. 330-332.
13. **Кугушева И.В.** Мониторинг и результаты закрепления грунтов основания Трапезного Сергиевского храма и Казначейского корпуса Свято-Троицкой Сергиевой Лавры. Сборник трудов 3-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Сергиев Посад: 2008. С. 509-512.

14. **Кугушева И.В.** Взаимодействие грунта с инъецируемым раствором при закреплении грунтов оснований исторических сооружений. Сборник тезисов 4-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Сергиев Посад: 2009. С. 99-101.

15. Дмитриев В.В., **Кугушева И.В.** Метод и результаты повышения несущей способности оснований исторических сооружений. Сборник трудов 5-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Нижний Новгород: 2012. С. 188-195.

16. **Кугушева И.В.** Опыт применения метода инъецирования при восстановлении несущей способности грунтов оснований объектов культурного наследия свято-Троицкой Сергиевой Лавры. Сборник тезисов 6-го Международного научно-практического симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси». Сергиев Посад: 2015. С. 107-109.