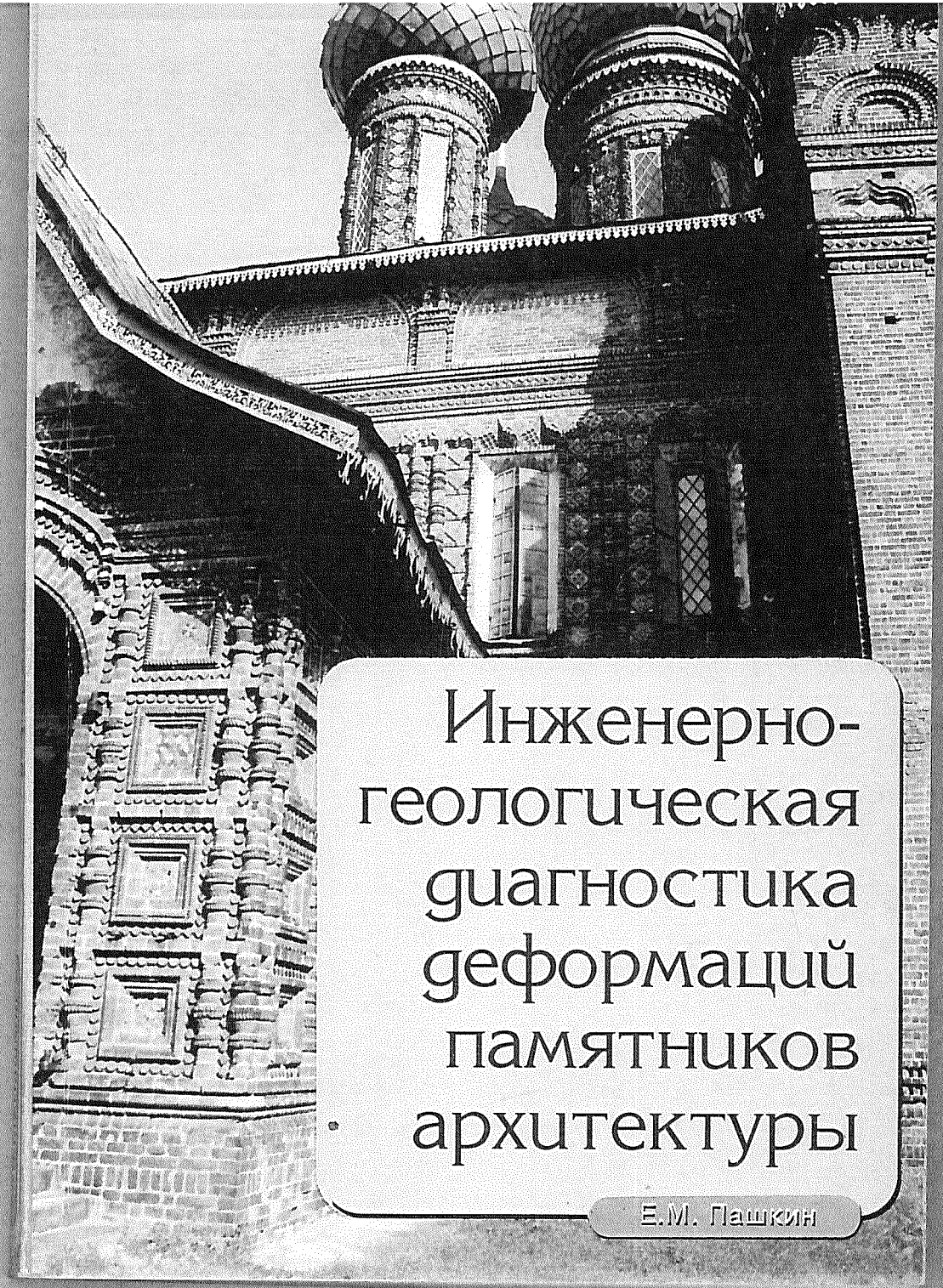


Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры

Е.М. Пашкин

Е.М. Пашкин

Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры

Москва
«Высшая школа»
1998

УДК 72
ББК 185.11
П 22

Издание осуществлено при поддержке
Центрального совета Всероссийского общества охраны
памятников истории и культуры, а также
А.О. «Инженерная геология исторических территорий»,
г. Москва

Пашкин Е.М.

П 22 Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры.– М.: Высш. шк., 1998.– 255 с.: ил.

ISBN 5-06-003597-2

В монографии автора рассмотрены проблемы взаимодействия между элементами окружающей природной среды и несущими элементами памятников русской архитектуры, описаны формы и виды их эволюционных преобразований за длительное время существования. Изложена методика инженерно-геологической диагностики деформирования памятников. Приведены многочисленные примеры диагноза причин их деформирования. Рекомендованы основные способы управления сохранностью и устойчивостью памятников от воздействия современных геологических процессов. Книга содержит большое количество иллюстраций.

Для инженеров-геологов, архитекторов и реставраторов.

Табл. 8, ил. 97, список лит. 56 назв.

© Пашкин Е.М., 1998
© Издательство «Высшая школа», 1998

ISBN 5-06-003597-2

Предисловие

Предлагаемая российскому читателю книга видного отечественного специалиста в области охраны и реставрации памятников истории и культуры, академика Академии архитектурного наследия, заслуженного деятеля искусств, профессора Е.М. Пашкина вызовет несомненный интерес у специалистов реставраторов, проектировщиков, инженеров-геологов, а также у специалистов, занимающихся изучением взаимодействия недвижимых памятников с грунтами и грунтовыми водами. Немало интересного и полезного для себя могут найти сотрудники отделений ВООПИиК и все те, кому близка проблема сохранения отечественной культуры.

В книге обобщен и проанализирован огромный фактический материал, собранный автором за 30 лет работы на уникальных исторических объектах сначала экспертом ЦС ВООПИиК и Министерства культуры, а затем руководителем фирмы "Инженерная геология исторических территорий" и Проблемной лаборатории по инженерно-геологической диагностике сохранности памятников архитектуры при Московской государственной геологоразведочной академии. Все это привело Е.М. Пашкина к созданию нового направления в инженерной геологии, исключительно важного и необходимого в деле сохранения архитектурного наследия, поскольку в России по статистике автора насчитывается около 80% зданий и сооружений памятников архитектуры, имеющих деформации по инженерно-геологическим причинам.

В книге после обстоятельной аргументации впервые поставлена проблема инженерно-геологического диагностирования исторических природно-технических систем вида "памятник — геологическая среда", а ее решение впервые выведено на профессиональный уровень. Также впервые рассмотрен интереснейший вопрос эволюционных преобразований в структуре реальных исторических систем, просуществовавших более 200–300 лет. Результаты этого вида деятельности позволили автору оценить уникальный характер взаимодействия связанных элементов системы — фундаментов и грунтов оснований в течение нескольких столетий.

Привлекает внимание разнообразная и хорошо продуманная терминология, используемая в книге. В ряде случаев она помогает привести к уточнению принятой у реставраторов терминологии и к ее усовершенствованию.

Язык, которым написана книга, доступен в равной мере специалистам реставраторам и инженерам-геологам. Коротко изложенный текст и четкость формулировок позволили автору осветить широкий круг впервые затронутых «вопросов при сдержанном в общем объеме книги.

Определенную специфичность книге придает то, что на ее содержании сказались интересы и опыт автора как геолога, занимающегося диагностированием деформаций памятников. Поэтому книга получила редкую направленность, столь важную в области сохранения архитектурного наследия России. И в этом несомненная заслуга автора.

Член-корреспондент
Российской академии наук
Е.М. Чехарин

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

Международная хартия по консервации и реставрации исторических памятников и достопримечательностей

"...реставрация памятников архитектуры представляет собой чрезвычайно сложный процесс, специфические особенности которого с трудом улавливаются и понимаются далеко не всеми, даже у самих реставраторов иногда отсутствует ясное представление как о целях и задачах реставрации, так и об особенностях ее методики в самом широком ее истолковании"

Е.В. Михайловский

Введение

На фоне современного состояния культуры проблема сохранения и реставрации памятников отечественной архитектуры приобретает особую значимость в связи с огромной важностью сбережения культурного достояния России в целом. Однако, сложность этой проблемы состоит еще и в том, что архитектурное наследие за прошедшее столетие оказалось в весьма запущенном состоянии, и чтобы его сохранить приходится «выгребать Авгиевы конюшни», решая широкий круг нетрадиционных для реставрации вопросов. Комплексный подход к реставрации практически только обозначился в основном за счет широкого использования инженерной реставрации, а в отношении необходимого учета влияния изменений геологической среды на сохранность исторических территорий сделано пока очень мало.

Специфика инженерной реставрации памятников архитектуры должна заключаться в восстановлении и поддержании близкого к первоначальному уровню функционирования всех элементов памятника как сложной природно-технической системы. Поэтому восстановительные функции при реставрации памятника должны быть приданы не только несущим конструкциям (стены, фундаменты, своды, колонны), но и грунтам основания, воспринимающим нагрузки от этих элементов, тем более, что в последние десятилетия они наиболее активно подвергаются процессам техногенеза и гипергенеза.

В связи с этим представляется необходимым включение инженерно-геологических исследований сферы взаимодействия в процесс

реставрации памятников архитектуры как неотъемлемого звена этих работ. Чрезвычайно важным становится профессионально выверенное диагностирование причин дестабилизации памятников архитектуры, поскольку в ином случае причины их деформаций могут оказаться невыявленными. На практике это часто приводит к тому, что принимаемые решения направлены на борьбу со следствием , а не с причинами явлений.

Осознавая важную роль правильной оценки "работоспособности" грунтов оснований, претерпевших за последние столетия эмерджентно-эволюционные преобразования, и необходимость обеспечения на последующий период существования памятников их устойчивости, в работе прежде всего делается акцент на анализ инженерно-геологических процессов, действующих в сфере взаимодействия памятников.

Обращается также внимание на изменения структуры и свойств грунтов оснований под воздействием техногенеза и в целом на необходимость оценки ряда геологических проблем, ранее не рассматриваемых в методологии реставрационных работ. Необходимость постановки этих проблем отчасти связана с весьма слабым геологическим образованием населения в России, что приводит к довольно упрощенному представлению о самых несложных геологических понятиях и явлениях. Этот пробел к сожалению наблюдается в смежных с инженерной геологией дисциплинах и специальностях. Не составляет исключения и такой род деятельности как реставрация памятников архитектуры.

Предлагаемая читателю книга является результатом многолетней деятельности автора, связанной с изучением технических основ сохранения памятников архитектуры и осмыслением некоторых теоретических позиций инженерной реставрации. Необходимость инженерной реставрации связана с неизбежностью эволюционных преобразований в структуре исторических природно-технических систем, каковыми в первую очередь являются условия взаимодействия несущих конструкций памятников архитектуры и их оснований. Это отличает инженерную реставрацию от просто реставрации, связанной с реконструкцией утрат внешнего и внутреннего образа памятника. Важным для инженерной реставрации является учет изменений окружающей природной среды в сохранности оснований и несущих конструкций, и проведения инженерно-геологического диагностирования причин разрушения памятников архитектуры для принятия правильных инженерных решений при их реставрации.

Помимо традиционных методов реставрации архитектурных элементов памятников, важнейшей задачей реставрационной практики становится исследование причин деформации конструктивных элементов памятников при их взаимодействии с геологической средой. Естественно, эта новая задача уже не может быть решена только на базе существующих методических основ реставрации памятников архитектуры, фактически не затрагивающих вопросы инженерно-геологической диагностики причин деформирования. Поскольку увеличивается масштаб информационной "вовлекаемости" знаний о связи функционирования основных конструкций памятников архитектуры со свойствами и состоянием геологической среды в сфере их взаимодействия, постольку ее решение уже не может обойтись без исследования причинно-следственных связей. Решение этого вопроса приобретает важность, поскольку в области реставрационных работ оно будет способствовать повышению эффективности и рациональности исследовательских работ по выявлению причин и факторов, разрушающих памятники архитектуры, и тем самым поможет более надежно и грамотно принимать решения по их укреплению.

Трудность решения этих вопросов заключается в разнообразии действующих факторов и сложности инженерно-геологических условий, в которых оказались многие памятники архитектуры. Следствием этого является неоднозначное взаимодействие несущих конструкций памятника с окружающей природной средой.

Инженерную реставрацию памятников архитектуры следует рассматривать как "лечение", предусматривающее на начальном этапе правильную диагностику заболевания, определение степени аварийного состояния памятника и выбор решений по приведению его в устойчивое состояние с сохранением функционального взаимодействия конструктивных, инженерно-геологических и архитектурных элементов.

Задачи инженерной реставрации заключаются в сохранении общей структуры памятников, выполнении всех необходимых инженерных работ по обеспечению дальнейшего их сохранения. Для установления характера взаимодействия подсистем памятника архитектуры и геологической среды требуется проведение тщательных инженерно-геологических исследований и конструктивное обследование фундаментов, стен и сводов.

Современное состояние рассматриваемых вопросов можно охарактеризовать как этап перехода от накопленных в последние годы

фактов к теоретическим обобщениям и выводам. Особое значение при этом приобретает сбор и обобщение сведений о характере проявления деформаций памятников архитектуры в условиях действия различных факторов для конкретных инженерно-геологических условий. Поскольку архитекторы-реставраторы не подготовлены к постановке и решению подобных проблем, к ним должны привлекаться инженеры-геологи, специализирующиеся в этой области деятельности.

Наибольшее число сохранившихся памятников архитектуры составляют культовые постройки. Это объясняется не только тем, что на их возведение тратилось больше средств, сил и привлекались лучшие мастера, но и тем значением, которое имела церковь в прошлом. Как отмечал Н.Н.Воронин [5], верховное господство богословия сказывалось и в том, что богослужение в церкви было основным видом зрелища, которое подчиняло себе архитектуру. Это проявилось уже при постройке первых христианских храмов в Эчмиадзине, Константинополе, Киеве и других городах, возведенных специально для проведения театрализованных культовых церемоний. Эти соборы стали родоначальниками крестово-купольной системы, широко распространившейся на Руси. В книге рассматривается, в основном, этот тип памятников русской архитектуры.

Настоящая книга не имеет аналогов, в ней использован обширный материал, собранный автором за прошедшую четверть века при проведении инженерно-геологических исследований на территории уникальных памятников архитектуры XI–XIX вв. Москвы, Новгорода, Ярославля, Вологды, Костромы, Смоленска, Твери, Нижнего Новгорода, Подмосковья, Русского Севера и других регионов России.

"Польза, прочность, красота".
Марк Витрувий

"Древнерусская архитектура таит в себе так много неожиданного и ценного, что всякий труд, затраченный на ее изучение, будет вознагражден в полной мере".
П. Максимов

Глава 1

Характеристика основных несущих конструкций памятников архитектуры

1.1. Конструктивные особенности памятников русской архитектуры

В последние годы в практике реставрации памятников архитектуры наметилась тенденция комплексной оценки их состояния во взаимодействии с изменениями окружающей среды. Стало вполне правомерным рассмотрение объекта реставрации как элемента сложной природно-технической системы "памятник-среда", в которой памятник архитектуры можно представить как подсистему, включающую взаимосвязанные конструктивные и архитектурные элемента, а окружающую памятник среду — как взаимосвязанные компоненты природной подсистемы: литосферу, гидросферу и атмосферу.

Среди факторов, определяющих состояние и свойства литосферы, гидросферы и атмосферы, немалую роль играет хозяйственная деятельность человека. Видоизмененная человеком окружающая среда в рассматриваемой системе "памятник — среда" самым губительным образом влияет на сохранность памятников архитектуры. Наиболее чувствительным к подобным изменениям оказываются грунты оснований памятников архитектуры, а также основные несущие конструкции.

Элементами подсистемы "памятник" могут быть тела искусственных строительных материалов разного таксонометрического уровня. Для рассмотрения элементов этой подсистемы целесообразно ее "декомпозировать". Средством декомпозиции при изучении причин деформирования памятников архитектуры может служить структурный метод, позволяющий выделить в архитектонике памятника струк-

турные блоки того или иного порядка. Пространственные отношения выделенных элементов подсистемы определяют ее структуру. Для выявления различных иерархических уровней элементов подсистемы вводятся ограничения на масштаб выделения элементов в зависимости от конкретно решаемой задачи. В зависимости от их размера, роли, которую они играют при деформации конструкций памятников, можно выделить следующие три уровня:

I уровень — элементарный блок в виде плинфы, кирпича, штуфа известняка, валуна;

II уровень — функциональный блок. На этом уровне подсистема рассматривается как единство взаимосвязанных элементарных блоков, группирующихся в функциональные блоки, несущие конкретные функциональные нагрузки, как некоторые целостности, например, стена, колонна, свод, фундамент.

III уровень — агломерат функциональных блоков. На этом уровне взаимодействие функциональных блоков обуславливает подсистему "памятник", а их отношения — ее структуру. На этом же уровне проявляется взаимоотношение памятников с факторами окружающей среды. Изучение взаимодействия между функциональными элементами и факторами окружающей среды позволит устанавливать стабильность или нестабильность системы "памятник — среда".

В зависимости от характера взаимодействия памятников архитектуры с факторами внешней среды, по аналогии с биологическими объектами, можно выделить жесткий и дискретный типы структурных организаций в подсистеме "памятник", например, кирпич — раствор или стена — свод при одинаковом воздействии изменений в окружающей среде или ее факторов чаще всего происходит по принципу слабого звена. При этом деформации будут развиваться ступенями, затрагивая сначала элементы жесткости — каркас, например, металлические или деревянные связи, затем разрушению подвергается субстрат памятника (кирпичная или каменная кладка). Это означает, что этапы разрушения памятника связаны с трансформацией его структуры.

Жесткая структура памятника сохраняется в устойчивых условиях проявления факторов внешней среды или в пределах статистической их изменчивости. Эта структура функционирует до тех пор, пока действие факторов на памятник не превысит некоторый критический порог. На определенном этапе существования каждого памятника происходит перерождение его структуры, когда для саморегулирования

и адаптации к изменяющимся факторам внешней среды жесткая структура переходит в дискретную за счет реализации напряжений в конструкциях по правилу слабого звена. Так, за счет образования трещины жесткая структура памятника адаптируется к измененным условиям внешней среды без нарушения системообразующих связей.

Можно привести несколько примеров перерождения структуры памятников в первые годы их существования, что в последующие годы не помешало памятнику приспособиться к новым условиям. Так, например, в Успенском соборе в Рязани, построенном Я. Бухвостовым в 1702 г., уже через 10 лет стали появляться трещины в результате неравномерной осадки: "своды все от стен отстали и рассадины учинились и связи, коими к стенам укреплены, от стен оторвало". Таким образом, уже в 1712 г. собор утратил первоначальную жесткость структуры и в результате внутренней перестройки адаптировался к новым условиям, обусловленным неоднозначным поведением грунтов основания. К 1727 г. произошел очередной этап деформаций, и трещины "великие обретаются", а в 1755 г. в алтаре и сводах появились новые трещины, которые продолжали развиваться до 1805 г., когда усилиями архитектора Луиджи Руска были проведены реставрационно-укрепительные работы. Таким образом, приблизительно за 100 лет своего существования собор неоднократно адаптировался к новым условиям до той поры, пока внешние воздействия на памятник не превысили некоторого порогового значения, после которого он перестал бы сохранять свою структуру.

Другим примером резкого изменения жесткой структуры под влиянием значительных изменений в окружающей геологической среде может служить Троицкий собор Ипатьевского монастыря, построенный в 1652 г. В 1709 г. после крупного наводнения на Волге в результате полного водонасыщения тонкозернистых песков и снижения их несущей способности собор "расселся на двое", потеряв общую жесткую структуру. Возникшая после этой деформации дискретная система может существовать длительное время до тех пор, пока не будут полностью исчерпаны все физические возможности системы "памятник — среда". К ним в первую очередь следует отнести сохранение сильных связей между основными элементами, например, фундаментом и основанием, стенами и сводом. Поэтому на этапе перехода жесткой структуры в дискретную важно выявить взаимодействия тех элементов, которые в новых условиях будут определять сильные связи. Выявление подобных взаимодействий должно составлять основу

исследований по изучению технического состояния памятника архитектуры с тем, чтобы стабилизировать сильные связи. Для Троицкого собора такими мероприятиями могут быть: исключение постоянно повторяющихся колебаний уровня грунтовых вод, которые способствуют развитию процесса деструкции деревянных свай и снижению несущей способности грунтов оснований; консервация сохранившихся свай; закрепление песчаных грунтов силикатными растворами. Наиболее эффективным мероприятием, исключавшим бы дальнейшие осадки памятника и развитие деформаций, следует считать в этом случае проведение силикатизации грунтов основания.

Целостность дискретной системы может быть обусловлена стереотипным поведением составляющих ее элементов при взаимодействии с факторами внешней среды и, наоборот, дифференцированный характер взаимодействия элементов памятника с факторами внешней среды приводит к нарушению структурных связей и дезорганизует подсистему "памятник".

При проведении инженерно-геологического диагностирования с целью выявления причины деформации памятника и организации управления техноприродными процессами, объектом этих исследований должна быть не только сфера взаимодействия, но и несущие конструкции как взаимосвязанные элементы единой природно-технической системы.

Поэтому ниже рассматриваются конструкции построек русской архитектуры в пределах элементов II уровня, выделяющихся по функциональному назначению структурных блоков, вбирающих основные несущие конструкции — фундаменты и стены.

1.2. Фундаменты и их совместная работа с основаниями

Если вопросы изучения типологии, иконографии и стиля русской архитектуры решены в полной мере, то многие проблемы археолого-технологического и особенно инженерно-геологического направления в области исследования русской архитектуры остаются слабо изученными. До определенной степени остается справедливой мысль, высказанная А.И.Некрасовым [26] о том, что "представители ... техники и инженерии остались чужды задачам искусствознания и его методам, несмотря на "выявление" и издание громадного числа памятников" (стр. 9). И этот пробел в полной мере можно отнести к изучению фундаментов русской архитектуры, конструктивная эволю-

ция которых представляет несомненный научных интерес. Но к сожалению, до сих пор сохраняется неравное отношение к подземным и надземным элементам памятников архитектуры. Достаточно напомнить, что в работе [36] авторы откровенно указывают на возможность "принимать с достаточной свободой (подчеркнуто автором) решения относительно выбора материалов, средств и методов усиления подземных частей зданий, сохраняя при этом только единственное требование — доступности к ним в будущем." Одновременно авторы отмечают, что реставрационные критерии по восстановлению и усилению надземных частей должны в наибольшей степени соответствовать "принципам охраны и консервации памятников, поскольку предотвращение разрушения каменной кладки и других элементов... являются необходимыми мероприятиями (подчеркнуто автором), направленными на поддержание и сохранение памятника" (с. 354).

С этим трудно не согласиться, но подобная неоднозначность отношения к разным элементам памятника, как единого целого, недопустима так же, как недопустимо неодинаковое отношение к патологии разных органов человека. Организм не будет полностью здоровым при нездоровье отдельных органов.

Подобное отношение к разным "болевым точкам" памятника можно продемонстрировать абсурдным случаем "выведения" памятника из аварийного состояния на примере церкви Рождества Богородицы в Ростове Великом.

В середине 50-х годов на аварийном памятнике, с серьезными деформациями стен и сводов, образовавшимися в результате осадочных процессов, была проведена реставрация кровли с заменой четырехскатной, существовавшей с XVIII века, на первоначальное позакомарное покрытие. Мало того, что в то время не было никакой практической необходимости в этом, замена кровли привела к увеличению сбора снеговой нагрузки почти в 1,5 раза, увеличив дальнейшее развитие деформаций памятника. Сохранившиеся причины к 90-м годам привели памятник к крайне аварийному состоянию.

Важность изучения фундаментов в контексте с общей изученностью памятников русской архитектуры была подчеркнута П.А.Раппопортом [40], который отмечал, что картина " конструкции фундаментов еще далеко не во всем ясна, поскольку во многих памятниках фундаменты изучены слабо, а в некоторых вообще не исследованы" (стр. 64). Эта мысль остается справедливой до сих пор.

Подавляющее число памятников русской архитектуры имеют ленточные фундаменты, выполненные из крупнообломочного каменного материала. Для создания массива каменных фундаментов древними мастерами использовались окатанные (валуны магматических или метаморфических пород) и неокатанные обломки (бутовый камень из известняка, доломита, песчаника), пиленные блоки (известняк, доломит), составляющие полный ряд крупнообломочных гранулометрических фракций размером от 0,3 до 0,8 м, иногда размеры валунов достигают в поперечнике 1,5 м.

Наиболее распространенной технологией возведения фундаментов служила, так называемая, схема "фундаментный ров", когда забутовка земляных траншей осуществлялась валунами или бутовым камнем "насухо" или с проливкой известковым или глинистым раствором. При этом подошва и нижняя часть фундаментов укладывалась наиболее крупными хорошо окатанными блоками и валунами, промежутки между которыми заполнялись мелкими валунами, битым кирпичом на известковом и цемяночном растворе. Эта мера предусматривала выравнивание подошвы фундамента и снижение напряжений на грунты основания на участках выступающих валунов или блоков. Так, например, нижняя часть фундамента Спасо-Преображенского собора в Белозерске была выложена для этой цели тремя рядами булыг размером до 10–15 см. Пустотность таких фундаментов изначально была высокой, а в дальнейшем под воздействием процессов выщелачивания материала кладки, образования фундаментных вод и физического выветривания, активизации морозного пучения и связанного с ним снижения жесткости фундамента, она еще более увеличивалась.

Анализ структуры валунных фундаментов целого ряда памятников русской архитектуры XVI–XVIII в.в. показал широтную зависимость размеров валунов. Наиболее крупных размеров (до 1,0–1,5 м в поперечнике при среднем значении 0,8 м) валуны встречены в фундаментах памятников северных территорий: Соловецкий монастырь, Антониев-Сийский монастырь, храмы Каргополя Архангельской области, Кирилло-Белозерский монастырь, Спасо-Преображенский собор Белозерска Вологодской области и другие. В памятниках Новгородской и Псковской области фундаменты сложены валунами меньших размеров до 0,6–0,8 м. Более меньших размеров валуны встречаются в фундаментах памятников архитектуры Тверской, Ярославской, Костромской и Московской областей.

Укладка крупных валунов или блоков с формой, близкой к сферической, первоначально усложняла характер распределения напряжений под подошвой фундаментов, поскольку создавались зоны повышенных напряжений в местах контакта валунов или блоков с грунтами оснований.

Подобное взаимодействие приводило в местах повышенных напряжений к развитию пластических деформаций на границе зон упругого ядра и выпора. В конечном итоге, за длительный период приложения нагрузок (десятки лет), нижний ряд блоков или валунов вдавливался в грунтовое основание, что вызывало выравнивание и уменьшение напряжений. Но это достигалось за счет осадочных деформаций, составлявших порой нескольких сантиметров, а иногда и десятков сантиметров.

Применение описанной конструкции фундаментов из валунов и бута продолжалось приблизительно до середины XIX века, уступив место пиленным блокам из белого камня, бутовой кладке с тщательной расщебенкой и кирпичной кладке на известковом растворе и романском цементе.

Использование кирпича при сооружении фундаментов началось в Древней Руси уже в XI веке, как вспомогательного материала в качестве кирпичного боя при заполнении пустот между валунами и бутом, как добавка к известковому раствору, и в виде выравнивающих рядов кирпичей в фундаментах из валунов и бутового камня. Подобное использование кирпича впервые было отмечено в фундаментах киевской церкви Успения на Подоле. Для этой цели часто использовали бракованный кирпич (пережог), получавшийся при обжиге.

Самостоятельное значение при возведении фундаментов кирпич получил значительно позже, очевидно не ранее XVII века. Из кирпича выполнена большая часть фундаментов церкви Георгия на Псковской горе в Зарядье (1658 г.), зданий Царицынского дворца (80-е годы XVIII в.), Торговых рядов в Солигаличе (начало XIX в.) и многих других памятников середины и второй половины XIX века (Большой Кремлевский дворец, Исторический музей, музей Изобразительных искусств, здание ГУМа и др.). Однако, во всех случаях подошву фундамента укладывали из блоков известняка с использованием известкового раствора.

Объяснением для отказа от валунной кладки фундаментов и перехода на использование осадочных пород или комбинированную

буто-кирпичную и валунно-кирпичную кладку следует искать в постепенном истощении запасов валунов в пределах Русского Севера и вынужденном обращении к другим материалам и технологиям.

Шире стал использоваться белокаменный бут, разработка которого была организована не только на Пахре под Подольском, но и в Дорогомиловском карьере в Москве, в верховьях р. Москвы и под Владимиром, где добывался известняк среднего и верхнего карбона, а также известняковые плиты нижнего карбона и верхнего девона, добываемые в Изборском и Выбутском карьерах под Псковом и Путиловская плита у Ладожского озера, которая использовалась при строительстве Санкт-Петербурга.

Этот материал применяли при возведении бутовых ленточных фундаментов. Кладка велась на известковом растворе с довольно тщательной расщебенкой путем вдавливания в раствор, заполняющий пространство между блоками, каменной щебенки соответствующих размеров. Фундаменты укладывались слоями в 3–4 ряда так, чтобы поверхность каждого слоя была горизонтальной.

После завершения кладки фундамента обычно на уровне дневной поверхности устанавливали горизонтальную противокапиллярную гидроизоляцию из смеси извести, толченого кирпича и железных опилок [37], которой покрывали верх бутовой кладки на 3–4 см. Однако в ряде построек Московского кремля, выполненных итальянскими зодчими, отмечены случаи устройства горизонтальной гидроизоляции в теле белокаменных фундаментов из тесанных блоков. Так, в фундаментах колокольни Ивана Великого была применена известково-глинистая и глинистая гидроизоляция тремя прослоями толщиной 0,1–0,2 м в интервале глубин от 4,2 до 5,3 м, а в Филаретовой пристройке был использован один прослой серой глины мощностью 0,2 м. Позже, уже в конце XIX века, в качестве горизонтальной гидроизоляции стали использовать асфальт, добавляя в него крупнозернистый песок. Толщина такого слоя гидроизоляции не превышала 1,5 см. В связи с подъемом уровня дневной поверхности асфальтовая гидроизоляция оказалась на 0,4–0,6 м ниже уровня поверхности земли. Такая гидроизоляция толщиной 8–12 мм была использована в здании Исторического музея (арх. В. Шервуд, 1875 г.) и в особняке З. Морозовой (арх. Ф .Шехтель, 1896 г.). При закладке в 1896 г. фундаментов здания музея изящных искусств имени императора Александра III (ныне музей им. А.С. Пушкина) архитектором Р.И. Клейном была предусмотрена асфальтная гидроизоляция толщиной 5–6 мм.

Однако, в настоящее время из-за подъема дневной поверхности эта гидроизоляция снизила свое значение, хотя продолжает выполнять роль отсечной гидроизоляции. Поэтому в отмеченных зданиях влажность кладки фундамента ниже расположения гидроизоляционного слоя значительно выше, что свидетельствует об отсечении ею капиллярного подсоса.

Уместно здесь отметить, что структура валунного фундамента как бы снимала проблему подсоса капиллярной влаги. Однако, присутствие глинисто-известкового материала в межвалунном пространстве сохраняла возможность для капиллярной трансгрессии в кирпичную кладку цоколя и стен.

Для снижения попадания капиллярной влаги в стены старые мастера нашли весьма разумное решение. Оно заключалось в том, что верхние 1–2 ряда валунной кладки выводились выше дневной поверхности, что позволяло поднимающейся влаге испаряться.

Однако со временем, в течение наращивания техногенных накоплений, это качество валунного фундамента постепенно утрачивалось и поднимающаяся капиллярная влага, будучи лишенной возможности испарения, стала попадать в материал стен, увлажняя их. Возвращая первоначальным фундаментам эту утраченную особенность, например, за счет снятия накопившихся техногенных грунтов, можно добиться заложенного старыми мастерами эффекта испарения влаги из верхних рядов фундаментов.

Этот способ был использован при реставрации усадьбы Н.А. Некрасова в Карабихе. При снятии толщи грунта на величину обнажения двух рядов валунного фундамента попутно была вскрыта старая отмостка, соответствующая первоначальному уровню территории усадьбы еще в период ее владения Голицыными. Регенерация дневной поверхности и связанное с ней возвращение утраченной функции фундамента привели к резкому снижению влажности в кирпичной кладке стен и интерьеров первого этажа усадьбы.

Для борьбы с неравномерными осадками и для правильного распределения напряжений под подошвой в древности использовался прием своеобразного армирования контактной зоны фундамент — грунт деревянными лежнями. Так, в одной из первых книг по архитектуре А. Палладио, говоря о фундаментах, отмечал, что "дно ямы должно быть ровным, чтобы груз давил равномерно, иначе, оседая в одном месте больше, чем в другом, стены дают трещины. По этой причине древние строители устилали дно травертином; мы же имеем

обыкновение покрывать его досками или балками и на них уже строить ...". В своей книге П.А.Раппопорт отмечал, что на Руси использование деревянного армирования подошвы фундаментов лежнями известно с древнейшего памятника зодчества — Десятинной церкви в Киеве. При этом лежни укладывались вдоль под фундаментами в три- четыре ряда и укреплялись кольями диаметром до 7 см и длиной около 0,5 м, а затем проливались известково-цемяночным раствором. Хотя лежни на пересечениях и соединялись между собой железными костылями, они все-таки не создавали с кольями одной ростверковой системы, которая позже стала широко применяться в России, в частности, в Санкт-Петербурге в XVIII в. И все-таки использование армирования основания на первом этапе очевидно не было повсеместным и постоянным. Так, например, в киевской Георгиевской церкви следов деревянных субструкций вообще не обнаружено [40]. Очевидно история сохранила тайну еще не об одном подобном храме, и не исключено, что некоторые из рассмотренных ниже могли оказаться в их числе.

В истории русской архитектуры известно немало случаев, когда памятники раннего средневековья, простояв несколько десятков лет, разрушались, по всей видимости в результате значительных и неравномерных осадок. Известно, что первоначальные каменные соборы имели небольшой срок службы: первый белокаменный Успенский собор в Московском кремле, построенный при Иване Калите в 1326 г., уже в начале XV века ремонтировался и все своды были подперты "древми толстыми", а при Иване III сначала обрушился Петровский придел, а затем собор полностью развалился; Успенский собор в Ростове Великом, построенный зодчими Андрея Боголюбского в 1162 г., разрушился уже через 42 года; Рождественский собор в Суздальском кремле, воздвигнутый в начале XII века Владимиром Мономахом, несмотря на частые ремонты довольно быстро начал разрушаться и уже в начале XIII века был разобран за ветхостью.

Дважды разрушался Георгиевский собор в Юрьеве-Польском: в 1230 г. "поломался" первоначальный собор, построенный в 1152 г. Юрием Долгоруким, а уже в 1234 г. на этом месте сооружена новая церковь, которая тоже обрушилась, и, наконец, в 1471 г. Георгиевский собор был воздвигнут "изнова".

Сейчас за давностью лет трудно установить были ли их основания укреплены деревянными конструкциями или нет и при каких условиях происходило их разрушение. Однако, совершенно очевидно,

что со временем, после ряда подобных неудач и ошибок, технология подготовки основания была усовершенствована, о чем свидетельствует длительная сохранность целого ряда памятников архитектуры, сооруженных в XV–XVIII вв. в сложных инженерно-геологических условиях и сохранившихся до наших дней.

На этом этапе совершенствования технологии древние мастера отказались от пассивного способа улучшения основания лежнями и перешли полностью на использование активного метода укрепления грунтов за счет их уплотнения сваями-коротышами. Можно проследить ряд преимуществ этих деревянных субструкций перед лежнями. Помимо уплотнения ими грунта и повышения его несущей способности они выполняли одновременно и функции висячих свай, создавая значительные сопротивления сдвигу за счет переуплотнения грунта. Кроме сказанного, эти сваи обладали более длительным сроком службы, поскольку в отличии от лежней, доступ кислорода к ним был более осложнен.

Очевидно этот переход был весьма растянут во времени и связан с поиском наиболее технологичных схем. П.А. Раппопорт отмечает, что полный отказ от лежней произошел во второй половине XII в. при возведении Успенской церкви в Старой Ладоге и церкви Бориса и Глеба в Новгородском детинце (1167 г.), хотя там же рецидивы этой технологии нами были отмечены под пряслом стены между Дворцовой и Спасской башнями (рис. 1), возведение которой относится к концу XV в.

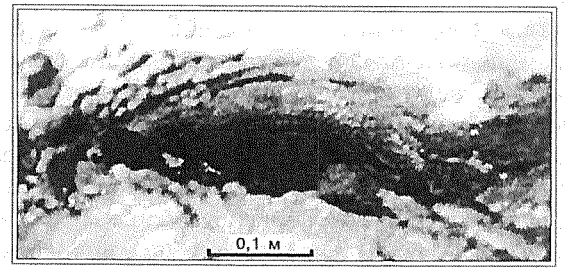


Рис. 1. Формирование полостей в результате деструкции лежней в основании прясла стены Новгородского детинца (XV в.).

Полученные в последние годы материалы, могут служить подтверждением высокой инженерной культуры и интуиции русских

зодчих, встречавшихся в своей практике со сложными природными условиями. Пожалуй наиболее яркими примерами сказанному может служить опыт инженерной подготовки оснований для строительства Успенского собора в Ростове Великом в начале XVI в. и Рождественской церкви (Строгановской) в Нижнем Новгороде, заложенной в конце XVII в.

Детальное изучение текстуры грунтов в зоне контакта основания и подошвы валунно-бутовых фундаментов показывает, что в ней всегда отмечаются признаки пластических сдвиговых деформаций в виде поверхностей скольжения, свидетельствующие о сложном процессе адаптирования грунтов основания к характеру и особенностям передачи на них нагрузок. Рассмотренные примеры разрушения храмов показали, что за первое столетие не всем сооружениям удавалось приспособиться к совместной работе с грунтами оснований. В данном случае неравномерность осадок генетически обусловлена конструкцией валунных фундаментов, создающих условия для сосредоточенных нагрузок на начальном этапе нагружения и приводящих к неравномерным осадкам. Это во многом было обусловлено выбором параметров фундамента.

О наличии подобных осадок в первые годы существования древних сооружений свидетельствует история возведения трапезной церкви Михаила Архангела Спасо-Андроникова монастыря в Москве. Отдельные элементы здания храма возводились со значительным разрывом во времени. Разновременность сооружения зданий комплекса храма, различные напряжения на подошве фундаментов под элементами привели к тому, что их осадка и даже осадка отдельных элементов трапезной палаты были неодинаковыми и привели к разрыву кладки на всю высоту, начиная от фундаментов, с относительными смещениями между архитектурно-тектоническими блоками памятника.

В отношении выбора параметров фундаментов следует отметить отсутствие в большинстве случаев какой-либо последовательности и логики. При их назначении древние мастера широко пользовались эмпирическими данными, хотя в некоторых случаях они довольно четко увязывали размещение фундаментов в зависимости от глубины залегания грунтовых вод, вида и состояния грунтов. Однако, вряд ли учитывали глубину сезонного промерзания грунтов, поскольку все земляные и строительные работы вели в теплое время года.

В целом хорошее качество возведения фундаментов и обоснованность выбранных параметров скорее исключение, чем правило. Это, по-

жалуй, первое и наиболее общее оценочное отношение к фундаментам русской архитектуры. Вторая особенность состоит в том, что за весь период существования памятников, в течение которого они неоднократно подвергались ремонту и переделке, фундаменты не укреплялись и не реставрировались и даже в ряде случаев после разрушения храмов вторично использовались при их восстановлении без каких-либо дополнительных укреплений. Так, в 1230 г. были возведены стены Георгиевского собора в Юрьеве Польском на фундаментах предыдущего храма, построенного в 1152 г.; в Москве в 1798 г. Р.Казаковым заново построена ц. Варвары Великомученицы на старых белокаменных фундаментах храма начала XVIвека, возведенного Алевизом, без дополнительной их реконструкции и усиления.

Давая в целом оценку фундаментам как конструкциям, изначально следует признать их не вполне удачными, а исполнение — низким, иногда даже с элементом небрежения. Для их возведения часто использовали бывшие в употреблении строительные материалы и их отходы. Так, например, при подведении белокаменных фундаментов Останкинского дворца в начале XIX веке взамен сгнивших деревянных стульев использовали строительный материал от разрушенной хозяйственной постройки.

К сожалению для российских природно-климатических условий не было найдено вполне удовлетворительных технических решений, которые адекватно их отражали и позволили бы во времени обеспечить надежную сохранность фундаментов. Хотя в отдельных случаях, в частности описанных ниже в этой главе, были найдены блестящие решения, обеспечившие им длительную устойчивость и сохранность даже в сложных инженерно-геологических условиях.

Памятники русской архитектуры по основным параметрам их фундаментов можно разделить на домонгольский период (XI–XIII вв.) и последующие периоды (XVI–XIX вв.). Параметры фундаментов памятников архитектуры домонгольского периода значимо отличаются от всех последующих. Для этих фундаментов характерно неглубокое заложение, в среднем оно составляет несколько меньше 1,0 м. При этом встречаются случаи очень мелкого заложения. Так, например, в Новгородских храмах Успения в Аркажах, Спас-Нередицы и на Перыне; в Смоленских храмах Василия на Протоке и др. глубина заложения фундаментов составляет около 0,8 м, а в ц. Успения и ц. Георгия в Старой Ладоге и того меньше — 0,5–0,7 м [40]. Не во всех случаях древние строители при выборе глубины заложения

Таблица 1

Средние значения глубин заложения фундаментов ряда памятников русской архитектуры

№№ п/п	Памятники архитектуры	Время постройки	Глубина заложения фундамента, м
1	Башня Сююмбеки Казанского кремля	1690	2,0
2	Государственный исторический музей	1873	3,2–3,7
3	Воскресенская церковь (Брянск)	1741	2,5
4	Богоявленский собор (Ростов Великий)	1556	1,5–1,9
5	Усадьба "Остафьево"	1796	3,7
6	Церковь Спаса на Сенях (Ростов Великий)	1675	2,4
7	Спасо-Преображенский собор (Белозерск)	1670	2,1
8	Строгановская церковь (Нижний Новгород)	1705	2,4–3,1
9	Софийский собор (Великий Новгород)	1050	1,8–2,5
10	Георгиевский собор (Старая Ладога)	1153	0,5–0,7
11	Церковь на Протоке (Смоленск)	1175	0,8
12	Стены Кирилло-Белозерского монастыря	1675	2,0
13	Успенский собор в Рязани	1698	3,0
14	Церковь Ильи Пророка (Ярославль)	1652	3,0
15	Церковь Спаса на Нередице (Великий Новгород)	1198	1,0
16	Десятинная церковь (Киев)	990	1,4
17	Софийский собор (Киев)	980	1,1
18	Церковь Ильи Пророка (Москва) после реконструкции	1519 1626	1,5 1,9
19	Никольский собор Авраамиева монастыря (Красный Холм)	1480	1,7
20	Надвратная церковь Авраамиева монастыря (Красный Холм)	1650	1,5
21	Знаменский собор (Великий Новгород)	1688	1,7
22	Спасо-Преображенский собор (Холмогоры)	1670	2,2
23	Церковь Климента (Старая Ладога)	1153	1,5
24	Большой Кремлевский Дворец (Москва)	1840	4,3–5,0
25	Успенский собор (Дмитров)	1586	1,0
26	Церковь Федора Стратилата (В. Новгород)	1360	1,4
27	Богоявленский собор (Иркутск)	1740	2,2
28	Московский университет	1786	2,6–3,3
29	Грановитая палата (Москва)	1490	2,3

фундаментов стремились углубиться через техногенные грунты и опереть фундаменты на естественное основание. Так, при мощности техногенных накоплений более 1,5 м подошву фундаментов опирали на толщу техногенных грунтов, а при меньшей мощности фундаменты старались опирать на естественное основание после разработки техногенных грунтов.

Для памятников архитектуры XVI–XIX в.в. средняя глубина заложения фундаментов составляет чуть больше 2,0 м, при этом для памятников XVI в. — первой половины XVII в. она составляет 1,6 м, для памятников второй половины XVII в. — конца XVIII в. — 2,7 м, достигая в ряде случаев 3,5–3,8 м. Таким образом, со временем заметна тенденция к увеличению глубины заложения фундаментов, которую можно проследить по приведенным в таблице 1 данным. Эта тенденция достаточно хорошо просматривается на графике увеличения глубины заложения фундаментов по мере совершенствования ведения земляных работ, построенном по табличным данным (рис. 2).

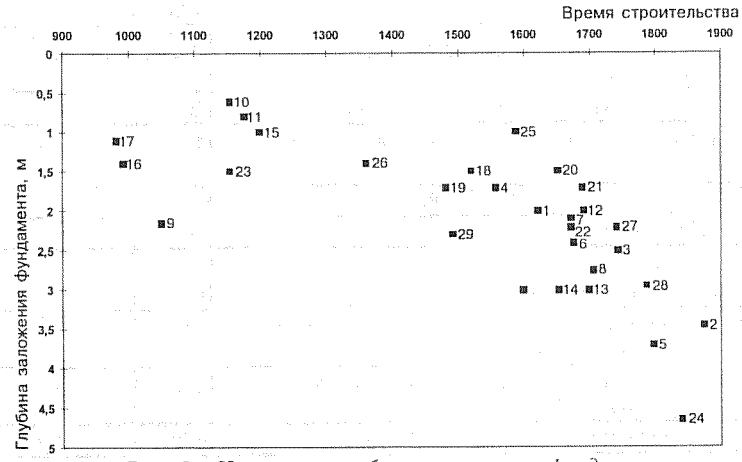


Рис. 2. Изменение глубины заложения фундаментов от времени строительства.

Хотя среди памятников домонгольского периода, как исключение, встречаются примеры более глубокого заложения фундаментов, но во всех случаях это можно объяснить сложностью инженерно-геологических условий. Так, самая большая глубина заложения фундамента 4,0 м отмечена в ц. Успения на Подоле в Киеве (XIII в.), где были учтены сложные геологические условия Киевского Подола и фундаменты закладывались из котлована, отрытого на склоне. Подобное решение имело место также при возведении фундаментов Спасо-Преображенского собора Спасского монастыря в Ярославле (начало XII в).

Предположение, что у русских строителей порой проявлялась отменная интуиция в выборе удачных технологических решений при сооружении фундаментов подтверждается целым рядом примеров, описанных в литературе [40, 20, 23] и выявленных в результате исследований последних лет.

Описанные выше случаи разрушения храмов привели древних строителей к мысли о необходимости , выражаясь современным языком, принятия адекватных решений, соответствующих конкретным инженерно-геологическим условиям, при которых "надобно ли чтоб сваи бити", т.е. к удачному выбору глубины и ширины фундаментов в соответствии со строением грунтовой толщи и даже их свойствами.

В частности, Раппопорт в своей работе, исследуя строительное производство в Древней Руси, делает интересное предположение о том, что строители уже в XI–XIII вв. могли проводить "разведку грунта с помощью закладки шурфов" (стр. 72).

Однако, вероятнее всего, уточнение залегания надежных грунтов в основании проводились в процессе разработки траншей для фундаментов. Это подтверждается примером строительства Михайловского собора в Переяславле, который приводит автор, отмечая разную глубину заложения фундаментов в зависимости от глубин залегания лессовидных суглинков.

Однако вряд ли уместно сублимирование возможностей древних мастеров, но одного у них нельзя отнять — мудрого извлечения выводов из допущенных ошибок в прошлом. В качестве иллюстрации к сказанному можно привести эпизод, ставший уже христаматийным, из строительства третьего Успенского собора в Московском Кремле, когда Аристотель Фиорованте, в результате анализа причин разрушения предыдущего храма, упомянул о небольшой глубине рвов для фундаментов и о слабости грунтов, заложив фундамент "по своей хитрости, но якоже делаша московские мастера", т.е. с более глубоким заложением — на 2 сажени (около 4,0 м) — глубиной по тем временам весьма значительной.

Можно привести еще один пример более удачного решения, после извлечения ошибок прошлого, возведения фундаментов Успенского собора в Ростове Великом (XVI в.).

В 1992 г. впервые за всю историю исследований Успенского собора сотрудниками кафедры инженерной геологии МГГА был полностью вскрыт и изучен фундамент собора. В результате исследований установлена уникальная, по обоснованию выбора, конструкция фундамента и технология его возведения. Прежде всего глубина фундамента (5,0 м) была принята из расчета полного исключения из работы в качестве основания техногенных гумусированных грунтов, содержащих остатки органики от 4 до 75% и служивших основанием для предшествующих соборов. Нагрузки от фундамента собора в этом случае полностью передавались на озерные валдайские глины.

Устройство столь глубокого фундамента было осуществлено с помощью предварительно забитой сплошной деревянной шпунтовой стенки на всю глубину заложения фундамента. Затем, после разработки грунта, под прикрытием шпунтовой стенки, в образованные щели, на высоту около 3 м была уложена забутовка из гравийно-галечного материала на известковом растворе. На забутовку, выполнявшей роль своеобразной инженерной подготовки, были уложены под заливку известковым раствором валунные фундаменты. Глубина самого валунного фундамента составила 1,5 м, части фундамента из белого камня — 0,5 м. Таким образом, с помощью примененной технологии древним строителям удалось исключить из использования в качестве основания слабые техногенные грунты и передать нагрузку от собора на плотные глинистые грунты. Устройство фундаментов под Успенским собором Ростовского кремля показан на рис. 3.

Более постоянными во времени оказались размеры выносов валунных фундаментов. За весь период их применения (XI–XIX вв.) они в среднем составляли от 0,1–0,2 м до 0,5–0,6 м и только в отдельных случаях, имеющих вполне утилитарное объяснение, составляют несколько метров. Например, уширение фундаментов в северо-западном направлении Иноплеменничьей башни Ново-Иерусалимского монастыря составляет 1,5–2,0 м; к северу от Покровской башни Новгородского кремля уширение достигает 1,5 м; к юго-востоку от апсиды Сергиевской церкви Троице-Сергиевой Лавры — до 2,5 м. При этом подобные уширения сложены из очень крупных валунов, достигающих в поперечнике до 1,0–1,2 м и, очевидно, выполняющих во всех приведенных случаях необходимую гравитационную функцию, поскольку эти сооружения располагаются на крутых склонах или на участках с большими уклонами поверхности.

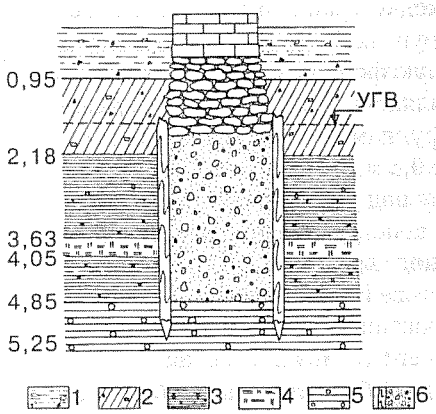


Рис. 3. Сооружение фундаментов Успенского собора в Ростовском кремле с использованием шпунтовой стенки. 1 – супесь с остатками булыжной отмостки; 2 – суглинок с включениями белого камня, кирпича, органики; 3 – глина гумусированная с обломками известняка и гальки; 4 – скопление щепы с дубовыми бревнами; 5 – глина слабогумусированная с гравием и галькой; 6 — шпунтовая стенка с забутовкой их гравия и гальки на известковом растворе

Назначение ширины подошвы фундаментов и формы их поперечного сечения во многом зависело от типа и состояния грунтов, в толще которых приходилось разрабатывать рвы для ленточных фундаментов. В случае устойчивых грунтов удавалось создавать траншеи с почти вертикальными стенками, что позволяло уширять по сравнению с будущими стенами фундаменты по всей глубине, придавая им поперечное сечение, близкое к прямоугольному или трапецеидальному с уширенным основанием до 2,2–3,0 м. Подобные фундаменты часто встречаются в домонгольских храмах владимиро-суздальской школы древней Руси, Смоленске, Великом Новгороде. Близки к ним по конструкции фундаментов многие памятники архитектуры XVI–XVIII вв. Среди них, в качестве примера, можно привести устройство фундаментов храмов Ильи Пророка в Москве и Ярославле, крепостных стен и соборов Кирилло-Белозерского, Соловецкого, Ипатьевского монастырей и др. Строгановская церковь в Нижнем Новгороде имеет валунный фундамент с каменной наброской из известняка с глинистым вяжущим материалом глубиной 2,3–3,6 м с уширением от стен до 0,6 м и шириной фундамента от 2,1 м до 3,0 м.

При проходке траншей в слабых и неустойчивых грунтах фундаменты повторяли трапецеидальную форму с сужением, которое обычно составляло ширину стены. У верхнего же обреза фундамента уширения достигают 0,6 м, реже 0,8 м, придавая таким образом сужение к низу под углом 70–80° (рис. 4).

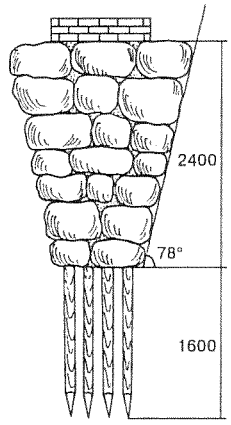


Рис. 4. Конструкция фундаментов церкви Спаса на Сенях

Подобная конструкция фундамента была обнаружена под храмом Спаса на Сенях (1675 г.) в Ростове Великом, сооруженном на слабых заторфованных суглинках. Валунный фундамент имеет глубину 2,4 м с консольными выносами до 0,5 м от стены и обратным уклоном внешней стенки фундамента под углом 80° (рис. 4). Фундамент Спасо-Преображенского собора в Переславле-Залесском, построенного в 1152 г. на озерно-болотных грунтах, имеет на уровне верхнего обреза ширину на 1,45 м больше стены, т.е. вынос составляет в каждую сторону 0,7–0,75 м. Ниже боковые стенки его сначала опускаются вертикально вниз, а далее резко сужаются до ширины стен. Подобная конструкция фундамента вскрыта под трапезной Строгановской церкви в Нижнем Новгороде (конец XVII века). Сначала стенка фундамента до глубины 1,10 м вертикальна, затем до подошвы фундамента до глубины 2,17 м идет сужение под углом 68° (рис. 5).

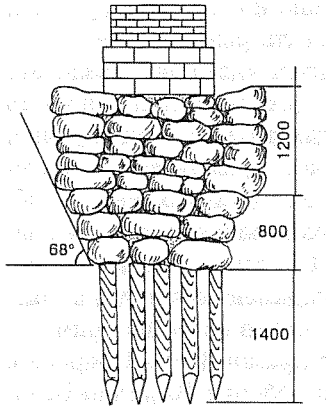


Рис. 5. Конструкции фундаментов Строгановской церкви в Нижнем Новгороде

В целом состояние фундаментов памятников русской архитектуры за время их существования ухудшалось под действием процессов химико-физического выветривания материала кладки и раствора в условиях значительного увлажнения при знакопеременном температурном воздействии и сохраняет эту тенденцию, благодаря процессу активной деструкции деревянных свай, в

связи с общим ухудшением состояния сферы взаимодействия памятников.

Традиции возведения монументальных сооружений русского раннего средневековья и последующих эпох, вплоть до XIX в. предусматривали широкое использование деревянных свай в качестве уравновешивающего элемента в поле проявления действия нагрузок. Практика строительства в России свидетельствует о применении деревянных свай не только для выравнивания давления на основание, но и как средство уплотнения грунтов и повышения их несущей способности.

Особенности местных инженерно-геологических условий, наличие подручных строительных материалов, явились причиной традиционного присутствия в арсенале русской инженерно-строительной школы технологии уплотнения пылевато-глинистых и песчаных грунтов, служащих основанием большинства сохранившихся памятников архитектуры. После забивки свай и завершения строительства уплотненные грунты в пределах свайного поля оказались в напряженном состоянии.

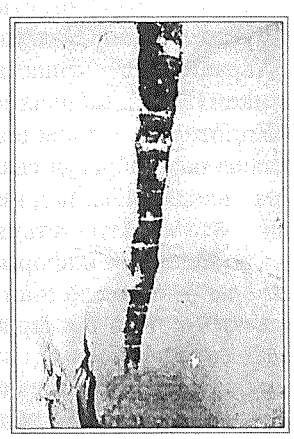


Рис. 6. Искривление горизонтальной слоистости грунтов в результате забивки свай под фундаментами Теремного дворца Московского кремля

Изучение деформаций грунта у забитых в него свай показывает, что горизонтальные границы слоев и линз грунтов получили после забивки свай искривления, связанные с уплотнением грунта. Подобные искривления границ слоев сохранились и после полной или частичной деструкции свай и были выявлены при изучении оснований Новгородского детинца, Ново-Иерусалимского и Толгского монастырей, ц. Ильи Пророка в Ярославле, Теремного дворца в Московском кремле и многих других памятников архитектуры (рис. 6).

Однако, характер искривления слоев и формирование границ уплотненного грунта существенно зависят от формы свай. В случае применения конических свай, максимальные ис-

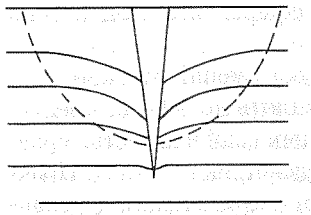


Рис. 7. Искривление слоев при забивке конических свай

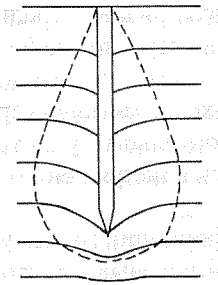


Рис. 8. Искривление слоев при забивке свай с заостренными концами

кривления слоев и уплотнение грунтов приурочивается к верхней части свай и очертание уплотненного грунта приобретает полуцилиндрическую форму (рис. 7).

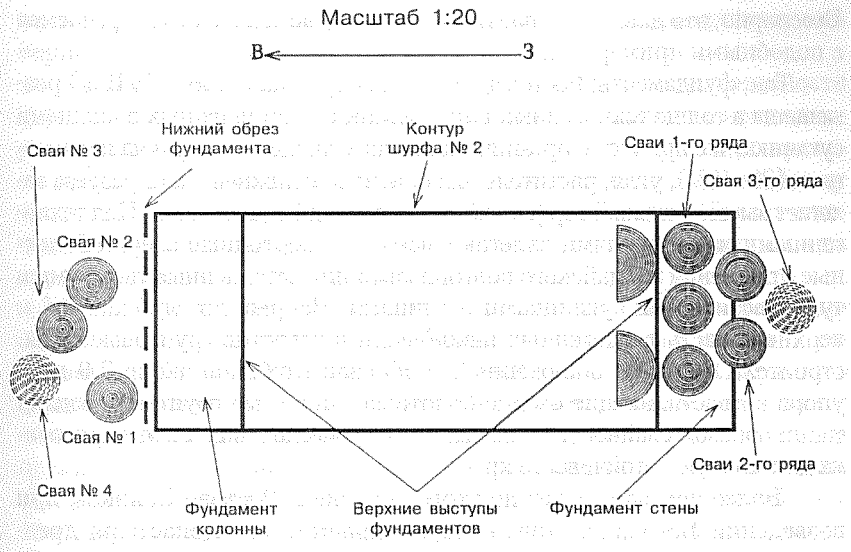
При забивке свай с заостренными концами наибольшее искривление слоев и уплотнение грунтов наблюдается в нижней части свай, а очертание уплотненного грунта получает грушевидную форму (рис. 8).

Показанная на рисунке уплотненная зона грунтов, имеющая грушевидную форму и расширяющаяся к низу под углом β, является наиболее распространенной структурой свайного массива.

Забивка свай осуществлялась на довольно близком расстоянии между ними — среднее расстояние между сваями составляет 0,2–0,3 м реже 0,4 м, однако, когда в основании залегали торфянистые грунты (как под фундаментами Благовещенского собора Авраамиевого монастыря в Ростове Великом) сваи забивались почти вплотную. Уплотненные зоны вокруг каждой сваи сливались, образуя свайный массив (рис. 9), воздействие которого на находящийся под ним грунт можно оценивать как влияние фундамента с соответствующими размерами и весом. Это позволит при имеющейся информации о свайном массиве оценить границы сферы взаимодействия и рекомендовать при расчете оснований учитывать новую пространственную работу конструкции фундамента.

В этом случае очертания сохранившегося свайного массива с некоторыми допущениями можно представить в виде трапеции, размеры которой, необходимые для определения фактических нагрузок, можно определить исходя из параметров свай: l — длина свай; d — диаметр свай; β — угол, вычисляемый по эмпирической формуле Бирбаумера:

$$\operatorname{tg}\beta = 0{,}54\sqrt{d / l}$$



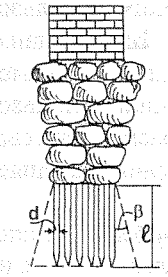


Рис. 9. Сплошное свайное поле, образующее свайный массив

Не во всех случаях деревянные сваи выполняли только уплотняющие функции. При прохождении свай в слабых недоуплотненных грунтах эффект уплотнения значительно снижался. В этом случае древние мастера прибегали либо к созданию плотного свайного массива путем сближения свай до 5–10 см, либо с помощью передачи сваями нагрузок на нижележащие плотные грунты, используя их как сваи-стойки. Отказ от стереотипных технических решений и переход на принятие конкретной технологии, отвечающей особенностям местных геологических условий, безусловно свидетельствует о внутреннем "озарении" древних строителей, которые не прибегая к различного рода умозаключениям, находили простые и правильные решения.

Бесспорно, это давалось практикой. И мы довольно часто встречаемся с подобными примерами.

Так, фундаменты Ростовского храма Спаса на Сенях (XVII в.) размещены в толще техногенных накоплений, представленных влажными суглинками с примесью органических веществ, щебня, кирпича и известняка (30–40%), угля, растительных остатков, в нижней части разреза залегает высокозольный торф, слаборазложившийся, влажный. Под техногенными накоплениями залегают верхнечетвертичные озерно-болотные отложения валдайского подгоризонта, представленные твердыми и тугопластичными суглинками и глинами. Вскрыв до глубины 2,4 м верхнюю часть техногенных накоплений и встретив грунтовые воды, строители забили в обнаженный торф сваи глубиной около 2,0 м до упора в подстилающие озерно-болотные глинистые грунты и создали таким образом свайное поле из свай-стоек, обеспечивших в этих условиях длительную устойчивость храма.

Более чем за сто лет до этого, там же в Ростове Великом при возведении Богоявленского собора Авраамиевого монастыря древние строители в подобных геологических условиях использовали оба подхода для обеспечения устойчивости храма. Был создан свайный массив с очень высокой плотностью забивки свай диаметром 20–22 см. Для создания большей плотности забивки использовали полубревна толщиной до 12 см, что позволило разместить сваи на расстоянии от 4 до 10 см. Опираясь в плотные озерно-болотные глины и суглинки, они создали систему свай-стоек.

И позже русские строители неоднократно прибегали к способу передачи нагрузок от зданий и сооружений на более плотные нижележащие слои грунта при помощи свай-стоек. Так, при строительстве Невской куртины Петропавловской крепости в начале XVIII века с глубины 1–3 м ниже уровня Невы забивались дубовые сваи диаметром 0,35–0,4 м на глубину 6–8 м. При сооружении Исаакиевского собора были использованы просмоленные дубовые сваи-стойки диаметром 0,26 м, длиной 6,5 м, с шагом 0,25 м. Общее число забитых свай-стоек под собором составило 2,6 тыс.

Однако остается открытым вопрос о предназначении свай в качестве несущих элементов памятников русской архитектуры в течение длительного периода времени — по существу, всего времени существования памятников. Например, если покосившийся барабан или обрушившийся свод можно было бы вовремя поправить или переложить заново, как это случалось неоднократно, то сгнившие сваи

не только не заменялись, но о них просто в течение длительного периода времени ничего не было известно.

Как же относились древние мастера к приданию долговечности деревянным сваям? То, что они не могли учитывать изменение гидрогеологических условий и изменения влажности грунтов во времени является вполне очевидным. Именно это и привело к массовому процессу разложения деревянных свай уже через 100–150 лет с начала строительства, поразившее значительное число памятников на огромной территории Русской равнины.

Однако с другой стороны есть немало случаев хорошо сохранившихся свай (исключаются случаи сохранения свай, постоянно находившихся под водой) в течение 400–500 лет и более. Отсутствие исчерпывающей информации не позволяет в настоящее время найти объективное объяснение этому. Вполне очевидно, что условия определяющие разложение древесины крайне неоднородны. Иначе, как объяснить, например, то, что под северо-восточной частью звонницы Московского кремля сваи сохранились и находятся в удовлетворительном состоянии, а под юго-восточным углом полностью сгнили. В целом же поражение свай гнилью под звонницей и Филаретовой пристройкой оказалось более значительным, чем под колокольней Ивана Великого, где сваи до сих пор находятся в удовлетворительном состоянии.

В ряде случаев хорошая сохранность свай связана с профилактикой по предотвращению гниения свай, применяемой строителями в период закладки фундаментов. Одной из таких мер служила проливка головок свай известковым раствором толщиной до 0,2–0,4 м для предотвращения доступа кислорода. Перекрытие известковым раствором головок , например, плотно забитых дубовых свай под колокольней Ивана Великого обеспечило им хорошую сохранность на протяжении уже 500 лет.

1.3. Стены

В этом разделе стены, как несущие конструкции памятников архитектуры, рассматриваются в форме, несколько отличной от традиционной оценки их как функциональных элементов зданий и сооружений. Не оцениваются особенности кладки, растворов, типоразмеров кирпичей, технология производства работ и т.п. В контексте книги стены рассматриваются в двух аспектах: во-первых, как носитель информации о происходящих деформациях фундаментов и основа-

ний; во-вторых, как элемент памятника, отражающий развитие процессов, возникших в результате нарушений структуры примыкающей к памятнику поверхности земли и внутристенных физико-химических процессов, возникающих в результате взаимодействия стен с окружающей средой.

При возведении стен использовался тот же строительный материал, который применялся при сооружении фундаментов. В зависимости от наличия вблизи местного строительного материала в технологии возведения стен использовался валунный камень, бут или квадры белого камня, кирпич или плинфа. Кладка стен осуществлялась полностью из какого-то одного материала, либо в разном их сочетании, т.е. была смешанной. Последнее касалось не только забутовки, но и лицевой поверхности стен. Такой "комбинированностью" отличаются, в основном, памятники архитектуры домонгольского времени, когда кирпичи чередовались с тесанными блоками белого камня или "вкраплениями" отдельных валунов.

Поперечный разрез стен реже характеризуется однородностью, когда при равнослойной кладке вся толщина стены выложена рядами кирпичей, либо когда стены полностью выложены валунами. Чаще встречаются наиболее конструктивный и более экономичный вид кладки стен

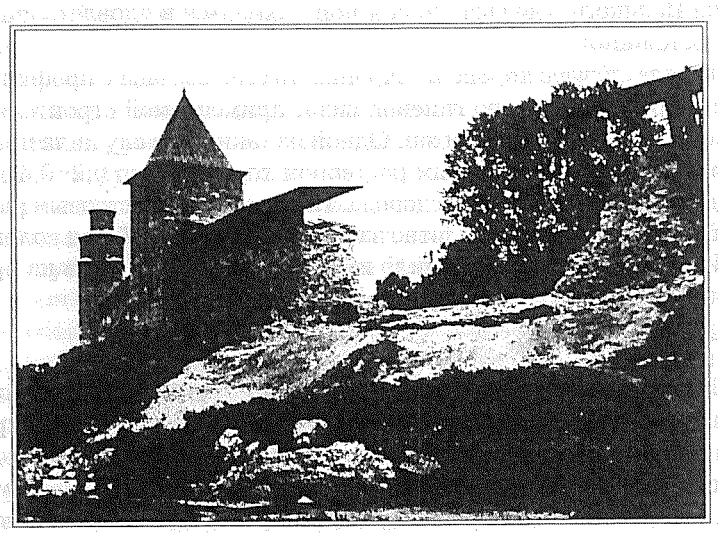
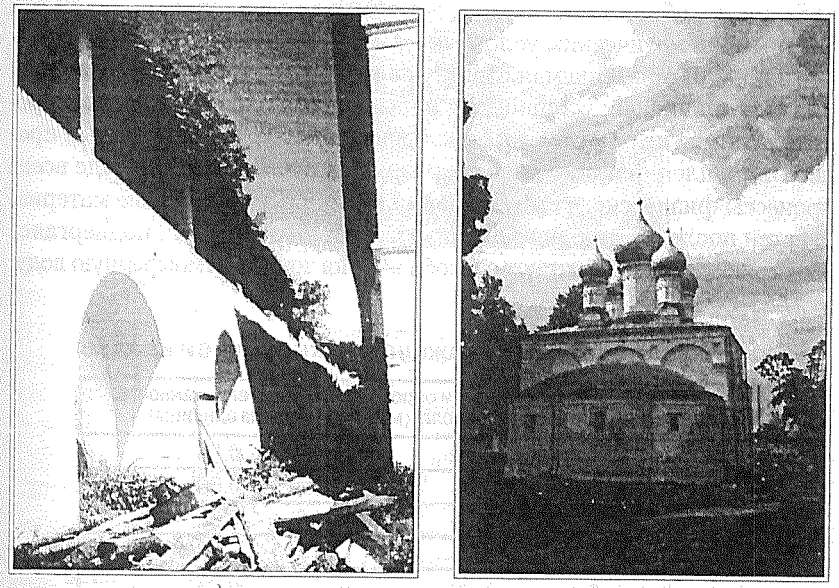


Рис. 10. Структура стены Новгородского детинца на участке ее обрушения

с внутренней забутовкой подручными строительными материалами: битым кирпичом, мелким валунником, белокаменным бутом, плитняком на известковом растворе. Кладка стен и в этом случае велась горизонтальными рядами, так как материал, укладываемый в пределах наружных поверхностей, должен был создавать требуемый эстетический эффект. На рис. 10 виден поперечный разрез стены Новгородского кремля на участке между Княжей и Спасской башнями, забутовка которой выполнена из валунов, битого кирпича и белого плитняка.

Кроме обеспечения живописно-декоративных решений фасадов стен, которым отвечают памятники архитектуры и о которых пишут многие исследователи русского каменного зодчества, стены и их конструкции поражают глубоко продуманной приспосабливаемостью к суровым климатическим условиям России и реагируют лишь на проявления экстремальных ситуаций.

Незащищенность стен от влияния внешних природных факторов одно из главных особенностей многих памятников русской архитектуры и в первую очередь оборонительных и монастырских сооруже-



а) *б)*

Рис. 11. Аркады в роли разгружающих арок: а – стены Саввино-Сторожевского монастыря; б – стены Рождественского собора Солотчинского монастыря

ний и холодных храмов. Многовековой опыт возведения подобных сооружений позволил найти несколько продуманных решений.

Прежде всего это можно отнести к аркадам, устраиваемым по внутренним границам стен оборонительных сооружений и внешним стенам некоторых храмов XVI–XVII вв. (рис. 11). Аркады, как разгружающие арки, играют роль компенсаторов температурных напряжений, достигающих из-за различной экспозиции и резких колебаний температуры значительных величин.

Компенсирующая функция аркад дополнялась внутренней забутовкой стен, выполняющих наряду с утилитарными задачами и роль компенсирующего элемента Внутренняя забутовка, будучи более пластичной кладкой, чем "наружная верста", как бы гасит деформации, связанные с температурными градиентами. Последние из-за разной тепло- и температуропроводности материалов наружных рядов кладки и забутовки обуславливаются тепловой инерцией материалов стен. Поэтому, будучи линейными сооружениями, не имеющими начальных температурных швов, стены и башни крепостных сооружений при подобной конструкции довольно хорошо адаптировались к местным климатическим условиям.

Однако, применяемая структура кладки, безусловно создающая ряд благоприятных условий для повышения сохранности стен, определила развитие генетически обусловленных ею ряда негативных процессов, медленно приводящих к разрушению стен. Это прежде всего процессы физического выветривания кладки. Строительные материалы стен после длительного эксплуатационного периода, подвергаясь выветриванию, приобретают способность поглощать атмосферную воду.

Таблица 2

Распределение влажности в кирпичной кладке

№ точки опробования	Высота точки опробования от пола, (м)	Показатель влажности (доля единицы)
1	0,10	0,38
2	0,25	0,36
3	0,50	0,35
4	0,75	0,22
5	1,00	0,07
6	1,25	0,06

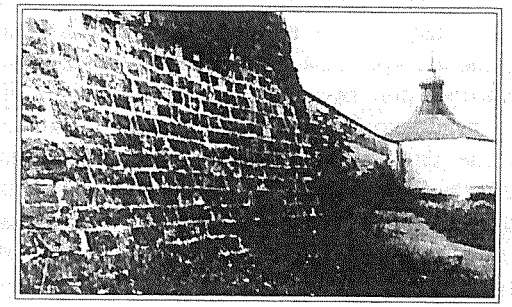
Примечание: глубина отбора 1,5 см; температура воздуха +12°С; относительная влажность воздуха 76%.

Так, например, при плотности кладки 1,7 т/м^3 выветрелая стена площадью 1 м^2 может поглотить за 1 час до 22 л воды [43].

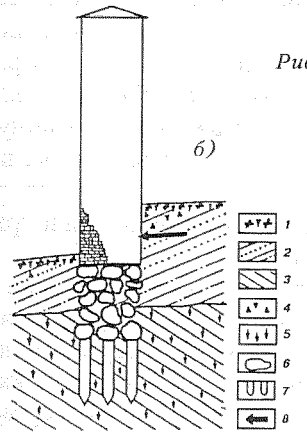
Исследования распределения влажности кирпичной кладки стен Спасо-Преображенского собора в Белозерске показало зависимость влажности кладки цоколя по высоте от проникновения парообразной влаги снизу через фундамент. Последнее усиливало влажность стен устройством в соборе цементного черного пола и по периметру бетонной отмостки. Результаты определения влажности кладки цоколя Спасо-Преображенского собора приведены в таблице 2.

Незащищенность стен от развития этих процессов создает возможность проникновения влаги также в виде пара через боковые поверхности стен и снизу.

На рис. 12 показана принципиальная схема проникновения этой влаги и дальнейшее ее превращение в гравитационную воду, в результате конденсации пара.



а)



б)

Рис. 12. Схема проникновения влаги в стены памятников.
а – стена Кирилло-Белозерского монастыря с фрагментом разрушенной кладки; б – схематический разрез стены монастыря: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – переслаивание мелкозернистых песков, супесей и суглинков культурного слоя; 3 – озерно-болотные суглинки; 4 – обломки кирпича; 5 – растительные остатки; 6 – валуны; 7 – сваи-коротыши; 8 – направление движения воды

По термофизическим условиям, при переходе к весенне-летнему потеплению, а также при оттепели в зимний период, происходит конденсирование пара и выпадение влаги на наиболее охлажденных поверхностях. Валуны, которые часто используются в качестве забутовки, обладают более высокой теплопроводностью. Поэтому инерция сохранения ими более низких температур внутри кладки стен приводит при попадании теплого воздуха внутрь кладки к ее предельному насыщению влагой, выпадающей на поверхности валунов или белокаменных блоков в виде росы. Скопление воды внутри забутовки при последующем промораживании стены приводит к переходу воды в твердое состояние, которое сопровождается формированием значительного поля напряжений и приводит к разрыву сплошности стен по линии минимальной адгезионной прочности между забутовкой и наружной кладкой.

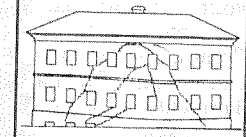
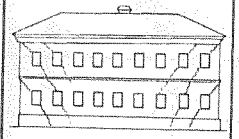
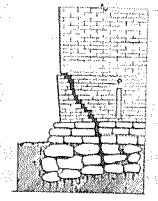
При обследовании деформированной части стены Новгородского кремля после того, как 37-метровая часть прясла стены упала, удалось выявить значительные полости, кулисообразно вытянутые вдоль стены, пустоты, трещины, раскрытием от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Большая часть этих нарушений в кладке стены была приурочена к контактной зоне между забутовкой и наружной кладкой. Развитие этих внутренних дефектов сопровождалось увеличением содержания влаги внутри стен и дальнейшим увеличением параметров раскрытия и длины дефектов. Образование линзовидной формы трещин и полостей вдоль стены придало внешней ее поверхности своеобразный двойной энтазис. Отклонение стены от первоначального положения на уровне от поверхности земли, равной 1/3 высоты стены, составило около 0,5–0,8 м в конце 80-х годов. Незадолго до ее падения (конец апреля 1991 г.) было резкое потепление и разность температур наружного воздуха и стен доходила до 15–20°С. Теплый воздух, охлаждаясь на поверхности стен и внутри пустот, привел к предельному насыщению влагой ослабленную до предела кладку, и стена, потеряв внутреннюю сопротивляемость, рухнула.

Наиболее часто встречающиеся виды деформаций стен и причины их возникновения приведены в таблице 3.

При изучении состояния стен памятников, особое внимание следует обращать на состояние кладки в нижней части стен, которая со временем оказалась ниже современного уровня дневной поверхности под толщей техногенных образований, бетонных и асфальтовых покрытий тротуаров, отмосток, площадей. Эта часть стен подвергается

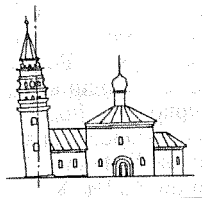
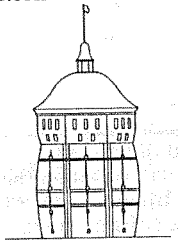
Таблица 3

Разновидности деформаций памятников и их основные причины

Разновидности деформаций	Причины деформаций	Примеры деформаций памятников
Сводчатые трещины 	Осадка средней части зданий, стен по следующим причинам: **1.** Ухудшение состояния грунтов от замачивания в результате нарушения поверхностного стока, утечек воды из коммуникаций, нарушение отмосток и т.п.; **2.** Суффозионный вынос грунта сосредоточенной инфильтрацией с образованием пустот; **3.** Многократное проявление морозного пучения.	Участок стены Кирилло-Белозерского монастыря, ц. Рождества Богородицы в с. Поярково, ц. Рождества Богородицы в Ростове Великом, здания XVIII–XIX вв. исторической застройки г. Москвы.
Осадки крайних частей зданий памятников 	**1.** Просадочные явления от замачивания лессов и лессовидных суглинков. **2.** Сгнившие сваи под фундаментами угловых частей здания памятников. **3.** Проявление морозного пучения. **4.** Сооружение вблизи памятников котлованов, траншей, водопроводящих коммуникаций. **5.** Возведение в непосредственной близости от памятника нового здания. **6.** Действие вибрационных нагрузок.	Троицкий собор Свенского монастыря в Брянске, памятники г. Каргополя, здание типографии ГРБ, флигеля дома Пашкова, ГМИИ им. Пушкина, здание исторических центров многих русских городов.
Угловые трещины 	По причинам, изложенным в п. 2. Основная причина — морозное пучение.	Многие памятники Русского Севера (г. Каргополь, г. Вологда — Горицкий монастырь, и др.) здания в пределах исторической застройки старых городов.

Продолжение на следующей странице...

Таблица 3 (продолжение)

Разновидности деформаций	Причины деформаций	Примеры деформаций памятников
Наклон зданий памятников 	По причинам, изложенным в п.п. 1 и 2.	Колокольня Астраханского кремля, колокольня ц. Николы на Паволоке, колокольня Воскресенского монастыря г. Солигалича, Невьянская башня, Башня Сююмбеки Казанского кремля.
Энтазис стен и колон 	**1.** Увеличение распорных усилий при исключении из работы воздушных и внутристенных связей. **2.** Появление эксцентричных нагрузок на своды. **3.** Действие вибрационных нагрузок. **4.** Коррозия металла внутри конструкции стен и колон и морозное выветривание кладки.	Водяная башня Троице-Сергиева монастыря, дом Русиновых в Пскове, колонны Шефского дома в Хамовниках.

разрушительному воздействию влажности и частичному или полному промораживанию кладки, ее физическому выветриванию с образованием ниш и, так называемой, "шейки", что приводит при снижении площади несущей кладки к значительному повышению напряжений (рис. 13).

Поскольку грунты, поверхностные и грунтовые воды в последние десятилетия содержат значительное количество солей, то к физическому процессу разрушения кладок добавляются и химические процессы (подробно см. в разделе 3.5). Последние в значительной степени снижают сохран-

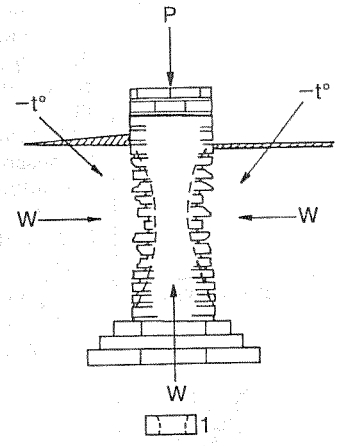


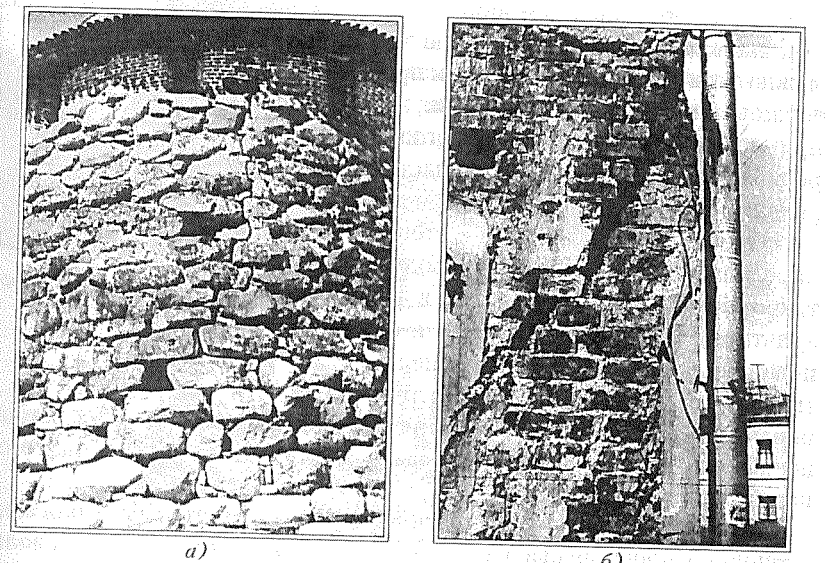
Рис. 13. Образование "шейки" в фундаменте: 1 – граница шейки

ность и прочность субстрата раствора, кирпича и белого камня.

Наиболее распространенными и опасными для сохранности памятников русской архитектуры являются осадочные трещины, отражающие в стенах эмерджентно-эволюционные преобразования в структуре оснований и фундаментов, как итог сложно протекающих парагенетически связанных процессов. Поэтому правильное дешифрирование трещин, кренов и других дефектов кладки стен позволит находить причины их развития.

В зависимости от используемого материала, формы и размера его отдельности, наличия связующего раствора кладка стен может иметь различную степень структуризации. Валунная кладка, стены со значительным объемом забутовки из разнородного по размеру и форме материала ближе к конгломератной структуре, тогда как кирпичная или блоковая кладка с разными видами перевязок более структурирована. Поэтому одни и те же силовые поля, возникающие в стенах , при наличии дефицита несущей способности в основании, по-разному будут взаимодействовать с описанными выше структурами стен.

На рис. 14 показаны различия образования трещин в рассмотренных структурах кладок стен. Для валунной кладки, состоящей из очень



а) *б)*

Рис. 14. Образование трещин в различных структурах кладки стен: а – валунная кладка; б – кирпичная кладка

прочных, окатанных элементов магматических пород, прочность которых несоизмерима с возникающими напряжениями в стенах, характерно образование трещин, огибающих валуны и не образующих скалывающих деформаций. В ряде случаев, при образовании "бегущих" трещин, выступающие валуны подвергаются вращению, тем большему, чем больше амплитуда смещения архитектурно-тектонических блоков.

Трещины в структурированной кладке имеют в основном скалывающий характер, хотя в общей длине этих трещин немалую роль играют швы между кладкой кирпича или блоков, поскольку прочность швов в несколько раз ниже, чем у основного материала. В этом случае швы образуют линию наименьшего сопротивления образованию "бегущей" трещины, секущей выступающие кирпичи или блоки на пути генерализации разрыва сплошности стены.

Для протяженных сооружений памятников (крепости, монастыри), стены которых выложены пластичной кладкой, деформации из-за неравномерных осадок или пучения могут проходить без нарушения сплошности стен, а с образованием лишь плавных наклонов или искривлений, о чем можно судить по синусоидальным прогибам карнизов или валиков, как, например, на северной стене Нового города Кирилло-Белозерского монастыря (рис. 15).

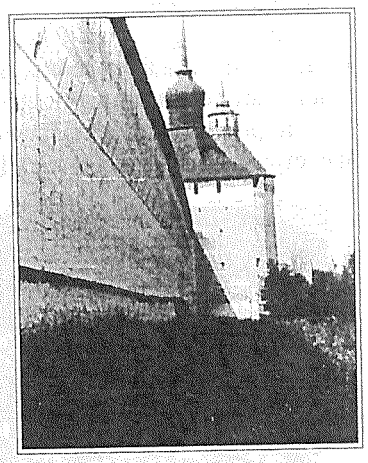


Рис. 15. Синусоидальный прогиб стены Нового города Кирилло-Белозерского монастыря

Особую группу трещин в стенах определяют так называемые сводчатые трещины, образующиеся в результате осадочных процессов в основаниях и подчиняющиеся синергетическому принципу самоконструирования в результате перераспределения напряжений в сохранившейся части стены после отрыва и в результате чего образуется несущий свод.

Особенность этих трещин заключается в том, что геометрия этих трещин (отношение высоты сводов к их пролету) подчиняется золотому сечению. Трещины подобного генезиса встречаются не так часто,

но представляют собой значительную опасность для сохранности стен памятников.

На рис. 16 приведена сводчатая трещина на восточной стене четверика ц. Рождества Богородицы в с. Поярково (XVII в.), образовавшей отторгнутый блок над алтарным порталом. Подобные трещины выявлены в стенах Ивановской части Кирилло-Белозерского монастыря, на южной стене храма Рождества Богородицы в Ростове Великом, в ряде зданий исторической застройки Москвы (рис. 17), и всюду геометрическое соотношение параметров этих трещин (b/h) близки к числам Фибоначчи (1,618), отражающим одну из производных золотого сечения.

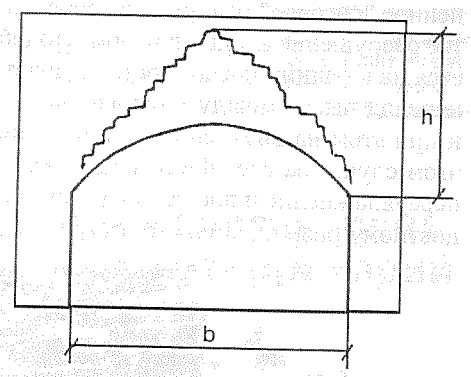


Рис. 16. Сводчатая трещина над алтарным порталом ц. Рождества Богородицы в с. Поярково (XVII в.) Московской области

На стенах ортогональных несущих конструкций, определяющих более жесткие пространственные элементы зданий, развиваются сложные деформации, сопровождающиеся раскрытием нескольких систем различно ориентированных трещин, раскрывающих порой многофак-

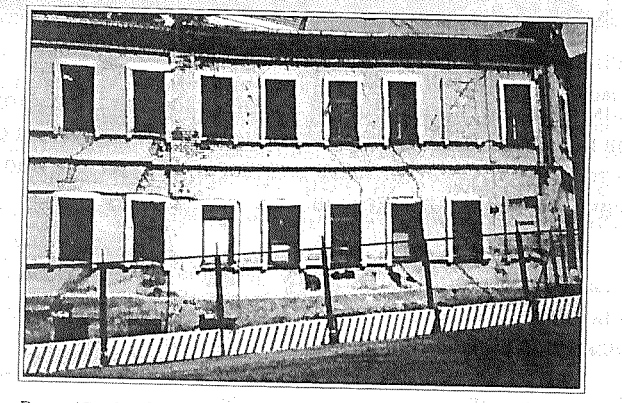


Рис. 17. Сводчатая трещина на одном из зданий исторической застройки г. Москвы

торный процесс деформации памятника. Часто подобные трещины образуются под воздействием сил морозного пучения.

Для кирпичной и белокаменной кладки стен в зонах их соприкосновения с атмосферной и капиллярной влагой характерно постепенное "сотовое" разрушение субстрата кладки (рис. 18) или слоистое разрушение кладки в целом. Подобное разрушение часто встречается на внешних поверхностях монастырских стен, когда образуется перепад высот между внутренней и внешней поверхностями земли и при этом на внутренней территории создается бесточная зона. В этом случае за счет фильтрации влаги сквозь стены происходит их переувлажнение и последующее промораживание приводит к поверхностному разрушению структуры кладки стен или камня.

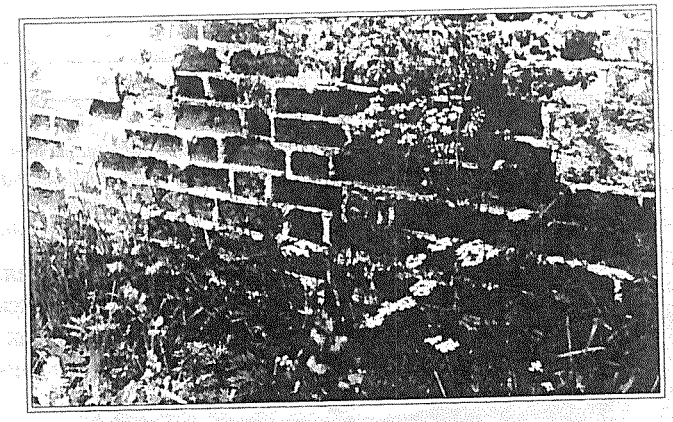


Рис. 18. "Сотовое" разрушение кладки стен

Таким образом, проделанный в этой главе анализ состояния фундаментов и стен многих памятников русской архитектуры свидетельствует о том, что их сохранность во многом зависит от протекающих в геологической среде процессов.

"Когда посещаешь новый город — будь внимателен к его воздуху, почве и воде"

Гиппократ

"Человек живет не только в окружении природной среды, но и в окружении памятников культуры. Поэтому сохранение природы и сохранение культурной среды стоят рядом: это проблема Экологии с большой буквы"

Д.С.Лихачев

Глава 2

Оценка инженерно-геологических условий исторических территорий и их роль в сохранении памятников архитектуры*

2.1. Общие замечания

Вопреки высказанной Гиппократом мысли, человечество стало проявлять обеспокоенность по поводу необходимости оценки и охраны окружающей среды лишь в последние десятилетия. Естественная обусловленность этого связана с неслыханной урбанизацией, техногенной нагрузкой на геологическую среду, увеличением строительных отходов в пределах исторических территорий, приведших к тому, что сохранение памятников архитектуры оказалось тесно связанным с охраной окружающей среды и необходимостью управления ею. Инженерная геология, аккумулирующая опыт и знания в этом отношении, занимает особое положение, позволяющее ей не только эффективно решать вопросы защиты памятников архитектуры от процессов проходящих в геологической среде, но и обеспечивать ее поддержание таким образом, чтобы эти процессы не наносили памятникам ущерба в будущем.

Подавляющее число памятников архитектуры России расположено на территориях с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, связанными с наличием слаболитифицированных песчано-глини-

* Под инженерно-геологическими условиями подразумевается необходимый объем сведений о свойствах взаимосвязанных компонентов геологической среды, позволяющий оценить устойчивость и эксплуатационную сохранность несущих элементов памятников архитектуры.

стых отложений, сформировавшихся в результате сложных циклических процессов водно-ледникового литогенеза, легко меняющих свои свойства в зависимости от влажности и создающих в своей толще условия для развития негативных техногенных процессов.

Эта характеристика геологических условий, не скрывающая сложность поддержания стабильности памятников архитектуры, естественным образом дополняется природно-климатическими условиями, что создает для России, в этом отношении, трудности, которых нет в других странах мира.

Последнее должно определить позитивное отношение к геолого-географическому детерминизму, имеющему немало доводов в пользу осознания роли природной среды в развитии деструкции памятников архитектуры, составляющей в настоящее время более 80% от общего их числа.

Памятники архитектуры, находясь под влиянием окружающей геологической среды, а также под действием факторов, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, испытывают это воздействие в двух видах. Первый связан с разрушением материала кладки памятника и как следствие с деформацией основных конструкций; второй вид разрушения памятников развивается скрыто и связан с изменением структуры, состояния и свойств грунтов основания. В последнем случае разрушение особенно интенсивно проявляется при возрастании этих изменений в связи с хозяйственной деятельностью человека. Именно этот фактор все чаще становится наиболее губительным при сохранении памятников архитектуры и со временем его воздействие (если не принимать никаких мер) будет усиливаться. Это побудило обратиться к разработке проблемы исследования влияния техногенных факторов на сохранность памятников архитектуры для установления диагноза деформаций их конструкций, при назначении правильного курса лечения и дальнейшего частичного или полного "выздоровления". Такое лечение может быть неправильным, и тогда действие техногенных факторов не только не ослабеет во времени, но и усилится. Игнорирование действия этих факторов, что часто наблюдается при реставрационных работах из-за незнания, связано с отсутствием каких-либо методических указаний, положений по учету проявления техногенных факторов на сохранность памятников. Поскольку действие этих факторов носит скрытый характер, то с их проявлением приходится сталкиваться только на заключительной стадии развития процесса разрушения памятника.

Диагностика причин деформирования памятников архитектуры требует четкого представления о свойствах и структуре той части геологической среды, которая составляет подсистему сферы взаимодействия геологической среды с памятником архитектуры. Таким образом, возникает необходимость иметь инженерно-геологическую информацию , содержание и объем которой позволил бы решить вопрос о нахождении причинного объяснения исследуемых явлений деформации памятников архитектуры.

В книге рассматриваются причины разрушения памятников архитектуры, сохранившихся на территории европейской части России — территории, где сосредоточен основной объем памятников русской архитектуры. В связи с этим здесь приводится общая инженерно-геологическая характеристика грунтов, распространенных в пределах Русской равнины и описываются основные экзогенные процессы, приводящие к дестабилизации природно-технической системы "памятник — геологическая среда".

Основанием подавляющего большинства памятников архитектуры на рассматриваемой территории чаще всего служат осадочные отложения четвертичного возраста, представленные рыхлыми несвязными (пески, гравелистые грунты и др.) и мягкими связными грунтами — глинистыми (суглинки, супеси, глины).

С точки зрения инженерно-геологической оценки эти грунты характеризуются особым составом, свойствами и значительной изменчивостью физического состояния. Среди них встречаются разности с повышенной плотностью, рыхлые и мягкие с пониженной плотностью и прочностью, а некоторые глинистые грунты характеризуются предельно малой прочностью [13]. Построенные на рыхлых несвязных и особенно на глинистых грунтах памятники архитектуры могут испытывать различные по величине и продолжительности осадки, сдвиги, вызывающие деформации основных конструктивных элементов памятников.

В этой главе приведена краткая инженерно-геологическая характеристика глинистых, песчаных и грубообломочных грунтов, а также приводятся примеры характера деформаций памятников, построенных на этих грунтах в пределах Русской равнины. Описаны наиболее распространенные генетические типы грунтов: ледниковые отложения, лессовые и аллювиальные грунты и экзогенные геологические процессы, а также характерные для этих комплексов пород геоморфологические условия.

2.2. Краткая характеристика некоторых типов грунтов оснований памятников

а) Ледниковые отложения. Основной причиной, определившей условия формирования поверхностных отложений на большей части европейской России, явились стадии оледенения, приведшие к образованию моренных отложений. Наиболее распространены морены днепровского и московского оледенений, реже осташковского возраста. Из всех фаций ледниковых отложений наибольшее распространение получила основная или донная морена. Условия ее образования связаны либо с эродирующим воздействием ледника на подстилающие его породы, либо моренный материал первоначально был включен в толщу ледника и затем откладывался за счет вытаивания.

Для морен характерна плохая сортировка, но гранулометрический состав их весьма постоянен и по простиранию и в разрезе. Отклонения наблюдаются в содержании тонкопесчаного и глинистого материалов; последние, обычно, не превышают 18%. При относительном постоянстве гранулометрического состава морены характерны определенные провинциальные особенности, влияющие на состав алевритовой и глинистой фракций. Выявленное повышенное содержания глинистой фракции для днепровской морены и повышенная гравийность московской морены свойственна Вологодской области и региону Ярославского Поволжья [48].

Изучения морены показали, что различия механического состава не оказывают значительного влияния на их инженерно-геологические свойства.

На состав основной морены и, следовательно, на их физико-механические свойства оказывает заметное влияние обогащение морен материалом подстилающих пород. Так, в районах развития скальных пород морена обогащалась грубообломочным материалом (дресва, гравий, галька и валуны), а на территориях, где ледник двигался по породам осадочного происхождения — мелкими, часто глинистыми фракциями.

Отмеченное разнообразие литологического состава пород, подстилавших ледник, позволяет сделать вывод, что инженерно-геологическая изменчивость морен носит случайных характер. Статистическая обработка фактического материала по физико-механическим свойствам морен, распространенных в северной половине Европейской

части России и Центральных ее районах, подтверждает это предположение.

На основании сопоставления показателей физико-механических свойств основной морены, распространенной в различных местах этой территории, можно сделать вывод о том, что по составу и свойствам морена оказывается в достаточной степени выдержанной независимо от возраста и района распространения, что некоторая закономерная инженерно-геологическая изменчивость морены выявляется только при сопоставлении северных областей, Центральных районов и более южных территорий.

Так, с севера на юг, от области развития скальных пород к области распространения рыхлых лессовых пород уменьшается количество грубообломочного материала (валунов, гальки и гравия) и увеличивается глинистость моренного материала. В пределах Центральных областей России все показатели физико-механических свойств морены характеризуются большой выдержанностью свойств.

Неоднородность моренных отложений усиливается наличием линз, прослоев и карманов водонасыщенных песчаных пород, заключающих напорные воды и проявляющих себя как плывуны. В ряде случаев внутри моренные напорные воды гидравлически связаны через литологические окна с напорными подморенными водами. Такая гидрогеологическая ситуация, например, наблюдается в Ростове Великом, где эти воды имеют также гидравлическую связь с водами озера Неро. Последнее обстоятельство явилось решающим в отклонении решения по гидрологическим и гидротехническим преобразованиям в бассейне озера. Они не должны никоим образом касаться гидрогеологической обстановки в сфере взаимодействия памятников архитектуры Ростовского кремля, Спасо-Яковлевского и Авраамиева монастырей и исторического ядра города в целом. Даже незначительные понижения на этой территории уровня грунтовых вод (например, в результате дренирования) могут привести к серьезным и необратимым процессам, поскольку грунтовые воды выполняют роль консерванта для деревянных свай, на которых стоят все памятники Ростова, и органики, включенной в техногенные накопления, служащие основаниями многих памятников архитектуры города.

Условия образования основной морены обусловили формирование ее свойств. В таблице 4 приведены основные физические свойства суглинков, наиболее распространенных моренных отложений [13].

Таблица 4

Физические свойства моренных суглинков

Возраст морены	Район опробования	Число пластичности,%	Плотность грунта, г/см³		Коэффициент пористости	Естественная влажность,%
			влажного	сухого		
Днепровская морена	Ярославль	14,7	2,18	1,88	0,44	15,8
	Углич	11,2	2,19	1,87	0,45	16,1
	Вязьма	9,4	2,05	1,76	0,53	13,3
	Рязань	13,2	2,05	1,72	0,57	19,5
	Тула	13,5	2,02	1,68	0,64	15,0
	Калуга	12,1	2,00	1,68	0,59	17,6
Московская морена	Тотьма	11,2	2,16	1,87	0,44	11,5
	Вологда	10,2	2,16	1,86	0,45	16,1
	Ярославль	9,9	2,19	1,91	0,42	14,3
	Тверь	11,1	2,20	1,96	0,38	12,5
	Клин	8,4	2,13	1,87	0,43	13,3
Осташковская морена	Архангельск	11,0	2,12	1,78	0,54	18,0
	Белозерск	11,5	2,13	1,84	0,47	15,5
	Кириллов	11,7	2,13	1,82	0,48	15,9

Таблица 5

Расчетные сопротивления моренных грунтов

Наименование грунта	Коэффициент пористости	Расчетные сопротивления в зависимости от состояний грунта, МПа			
		твердое	тугопластичное	пластичное	мягкопластичное
Моренная супесь	0,50	0,30	0,30	0,30	0,20
	0,45	0,40	0,35	0,30	0,20
	0,40	0,50	0,40	0,35	—
Моренный суглинок	0,45	0,50	0,35	0,30	0,20
	0,37	0,60	0,40	0,35	0,20
	0,30	0,70	0,45	0,40	—

Высокая плотность моренных отложений объясняется уплотнением за счет веса и движения ледника или за счет высыхания их после вытаивания. Повышенная плотность моренных отложений может быть объяснена также неоднородностью гранулометрического

состава этих отложений, приближающегося к оптимальному. Максимальные значения плотности отмечены у моренных супесей и суглинков и в меньшей степени — у глин. Объемная плотность этих грунтов в зависимости от влажности колеблется в пределах от 1,8–1,9 до 2,2–2,3 г/см³, пористость мала и составляет в среднем около 30%. Рост плотности морены приводит к существенному росту сцепления и в меньшей степени изменению сил трения. По данным опытных работ [48] эти изменения составляют: сцепление увеличивается почти вдвое (до 0,04 МПа) при увеличении объемного веса скелета от 1,7 до 2,0 г/см³, а угол внутреннего трения повышается от 20° до 23°.

Высокая плотность моренных отложений обусловила значительную их несущую способность. В табл. 5 приведены значения расчетных сопротивлений нагрузкам для грунтов (МПа), содержащих до 15% грубообломочного материала [13].

Модуль деформации грунтов основной морены в зависимости от состава изменяется от 40 до 150 МПа.

При снижении содержания или отсутствии грубообломочного материала в морене модули деформации имеют заметно меньшие значения. Так, по данным штамповых нагрузок [13] модули деформации в интервале нагрузок от 0,2 до 0,4 МПа для морен Вологодской области составили от 15 до 27 МПа, а по данным [48] для Ярославской области эти значения составили от 7 до 31 МПа. Подобная степень разброса этих значений характерна для морены, отличающейся своей неоднородностью.

Высокая плотность моренных отложений предопределила их низкую водопроницаемость. Обычно водовмещающими отложениями являются песчаные линзы и прослои, вблизи которых глинистые грунты находятся в слабоувлажненном состоянии. Иногда вода, находящаяся в линзах и прослоях, имеет напор.

Водопроницаемость гравийных и галечных прослоев и линз также невелика.

Изменения влажности в морене приводит к четко выраженному и направленному изменению сцепления и угла внутреннего трения. Так, по данным [48] при изменении влажности моренных суглинков от 12 до 20% их сцепление менялось от 0,045 до 0,02 МПа, а углы внутреннего трения соответственно изменялись от 25° до 20°.

Поскольку основная морена имеет состав частиц близкий к оптимальному, она является суффузионно устойчивой. Однако, важным в

оценке моренных отложений является выявление способности супесей разуплотняться под влиянием гидродинамического давления и затем переходить в суффозионное состояние. Обычно подобные условия для развития механической суффозии возникают на склонах и берегах рек, сложенных моренными отложениями, в местах выхода грунтовых вод при наличии гидравлических уклонов, превышающих 0,05. Суффозионный вынос тонкозернистого материала приводит к разуплотнению грунта, возникновению суффозионных пещер, полостей, что в свою очередь обуславливает деформацию склонов, образование просадок и пр.

Развитие этих явлений на склонах часто сопровождается деформациями в стенах памятников в виде расширенных по всей длине вертикальных трещин. В качестве примера суффозионного выноса супесчаного материала из толщи моренных отложений с последующим развитием деформации склона можно привести памятник архитектуры XVIII века ц. Николы Набережного в г. Муроме. Появление трещин в памятнике, связанных с развитием указанных процессов, привело к необходимости устройства на склоне к юго-востоку от храма подпорной стенки и контрфорса у апсиды.

Несмотря на то, что моренные отложения характеризуются высокой плотностью и прочностью, они легко размокают, размываются и обладают способностью к морозному пучению при неглубоком залегании грунтовых вод. Эта способность моренных суглинков и глин часто является причиной деформаций и разрушений памятников архитектуры.

В течение многих лет наблюдался активный процесс эрозионного размыва моренных суглинков, слагающих правый берег реки Сухоны в г. Великий Устюг. В последние годы подмываемый берег приблизился на 7–8 м к Дмитриевской церкви Дымковской слободы (начала XVIII в.). Над памятником нависла угроза , связанная с размывом суглинков, залегающих в основании Дмитриевской церкви. На фотографии (рис. 19), сделанной в 1979 г., зафиксирован результат эрозионного размыва (размытый берег, поваленные и сползшие к реке деревья). По рекомендации автора на берегу р. Сухоны были проведены укрепительные работы. Вдоль правого берега бечевник был покрыт мелким валунником и галечником, после чего процесс эрозионного размыва прекратился.

При обследовании многих памятников архитектуры, построенных на грунтах основной морены и имеющих в сфере взаимодей-

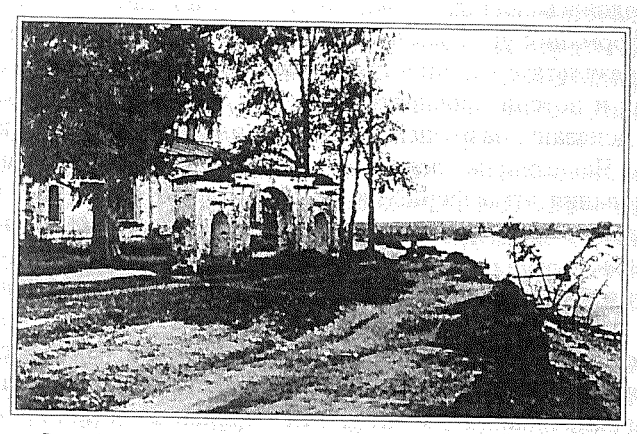
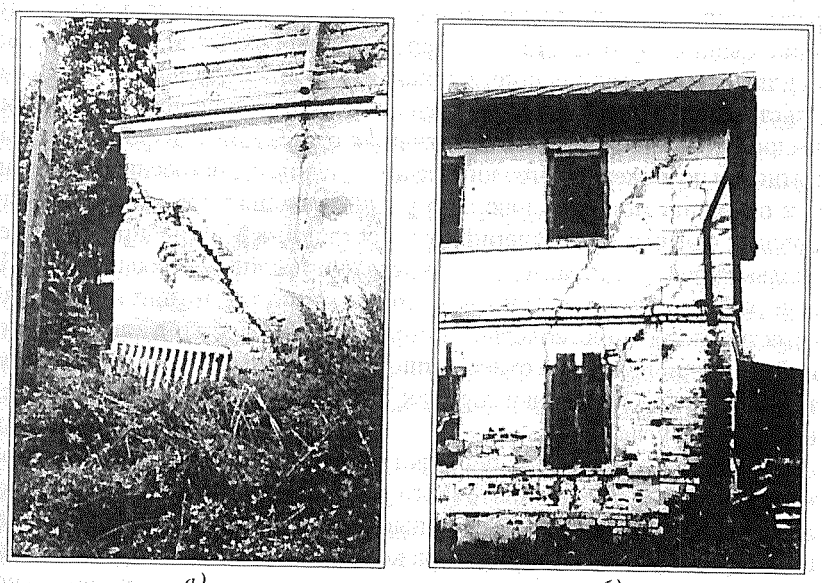


Рис. 19. Эрозионный размыв берега р. Сухоны вблизи Дмитриевской церкви (г. Великий Устюг)



а) *б)*

Рис. 20. Деформации угловых частей памятников в результате морозного пучения: а – дом Пожарских в г. Торжке; б – корпус келий Горицкого монастыря

ствия водонасыщенные песчаные линзы и прослои, отмечены типовые деформации угловых частей зданий. Эти деформации развиваются в результате пучения глинистых грунтов в процессе промораживания и потери прочности после последующего оттаивания. На рис. 20 показаны разрушения угловых элементов памятников архитектуры. Чаще они наблюдаются при повышенном замачивании грунтов основания атмосферными осадками из-за отсутствия отмосток или ливнесточных труб, при уклонах поверхности земли в сторону памятника.

При увлажнении морена склонна к набуханию в пределах 1–3%, реже — 5%. Набухая, глинистые частицы образуют структуры, заполняющие поровое пространство и создают дополнительные связи, упрочняющие морену. Процесс набухания глинистой фракции (набухание при замачивании достигает 14%) проявляется при наличии свободного порового пространства и связывающего действия [48].

В отмеченных примерах опасность для сохранения памятников определяется отношением глинистых грунтов к воде в процессе их размывания, увлажнения и промораживания, частичного или полного замачивания грунтов. Но несмотря на это, моренные отложения, если исключить их замачивание, являются наиболее устойчивыми к воздействию факторов внешней среды по сравнению с другими генетическими типами грунтов четвертичных отложений. Деформации памятников по инженерно-геологическим причинам, построенных на грунтах основной морены, довольно редки, развиваются медленно и не доводят памятник до аварийного состояния. Можно привести несколько примеров, показывающих, что памятники, построенные в XVII в. и ранее на грунтах основной морены при отсутствии нарушений естественного гидрогеологического режима не испытывали разрушений. К их числу можно отнести многочисленные памятники архитектуры XVII–XVIII веков в городах Торопец, Тотьма, Сольвычегодск и многие другие.

В толще основной морены встречаются прослои, линзы и слои мягкопластичных глин ленточного типа, известные в инженерно-геологической практике как ленточные глины. Это своеобразные песчано-глинистые толщи с четко выраженной слоистостью, образовавшиеся в приледниковых озерах, в которые материал горных пород сносился при разном в течение года режиме стока.

Генезис этого типа моренных отложений предопределил их физико-механические свойства. Во-первых, они являются недоуплотненными грунтами с высокой пористостью (60–65%) и, во-вторых, обладают очень высокой естественной влажностью. Эти грунты характеризуются анизотропией в проявлении ряда свойств. Например, водопроницаемость вдоль слоистости значительно выше, чем в направлении, нормальном слоистости.

Поскольку эти грунты обладают значительной пористостью, для них характерны большие значения осадок при нагрузках от памятников архитектуры. Для них также характерно нарушение естественной структуры при переходе из скрыто текучего в текучее состояние — при этом наблюдается в глинистых грунтах снижение сцепления до нуля [14].

Примером деформаций на ленточных глинах может служить трапезная церковь в Тихвинском Большом монастыре. Столбы и стены памятника имеют значительные осадки, определившие образование значительных трещин в сводах и стенах. В подклеть церкви постоянно проникает вода из тонких водонасыщенных песчаных прослоев. Активно протекают процессы морозного выветривания нижней части стен и кладки фундаментов.

Парагенетически с отложениями основной морены связаны водно-ледниковые отложения (флювиогляциальные), сложенные песком, гравием, галькой и отложения талых вод по периферии ледника, которые отличаются широким распространением на большой площади (зандровые поля) и представлены хорошо отсортированными песками, гравием, галечником мощностью в среднем до 10–15 м. Мелко- и тонкозернистые, пылеватые пески в водонасыщенном состоянии обладают типичными плывунными свойствами. Все остальные водно-ледниковые отложения имеют среднее и плотное сложение и являются хорошим основанием для памятников архитектуры. Примером хорошей сохранности памятников, построенных в XVII–XVIII вв. на плотных водно-ледниковых отложениях, могут служить постройки Солотчинского монастыря.

С моренными отложениями часто связаны озерно-ледниковые отложения, представленные илами, супесями, суглинками, глинами с большим содержанием органических остатков. Эти отложения занимают либо незначительную площадь, зависящую от размера озерного водоема и рельефа примыкающей территории и залегают в виде слоев и линз глинистых грунтов с высокой пористостью и естественной влажностью, обусловливающей их большую сжимаемость [14]. Либо это более значительно развитые отложения предледниковых

озер, образующие в современном рельефе обширные, часто заболоченные низменности. Они развиты в пределах Северо-Двинской, Сухонской, Верхневолжской и Мещерской низменностей и представлены песками, супесями, суглинками и ленточными глинами. Для связных грунтов этого комплекса отложений характерна слабая уплотненность. Так, их плотность при естественной влажности изменяется от 1,89 до 1,99 г/см^3, а в сухом состоянии — от 1,39 до 1,65 г/см^3. Озерно-ледниковые мелко- и тонкозернистые пески и супеси часто проявляют плывунные свойства, а ленточные глины при динамических воздействиях проявляют тиксотропные свойства [44].

Этот тип грунтов является весьма неблагоприятным, поскольку под нагрузкой от несущих конструкций памятников испытывает значительные по величине и длительные по времени осадки. Особенно снижаются их свойства при повышении естественной влажности. В своей статье Е.М.Михайловский [23] приводит основные этапы деформаций крупнейшего и уникального памятника древнерусского зодчества — Успенского собора в Рязани, построенного на озерных отложениях. Многочисленные работы по укреплению конструкций и стабилизации осадок этого памятника до сих пор не привели к положительным результатам. Даже подведенный в 1953–1954 гг. новый фундамент с заглублением его подошвы на 1,0 м не исключил развитие дальнейших осадок.

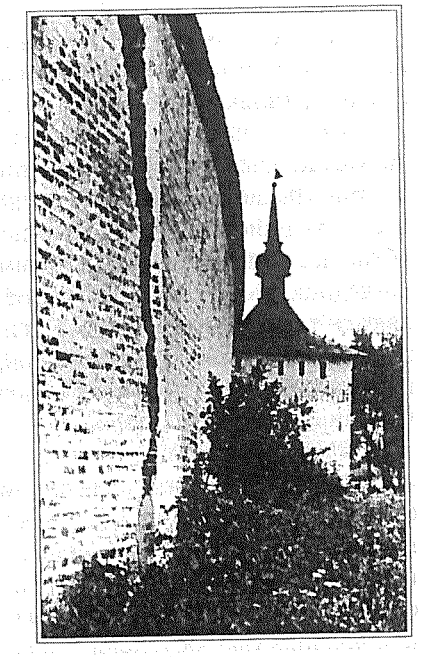


Рис. 21. Деформации стен Кирилло-Белозерского монастыря

Один из лучших памятников крепостного зодчества — Кирилло-Белозерский монастырь — также построен на отложения этого генетического типа. Известны давно деформации стен из-за неравномерных осадок грунта вдоль их протяжения и во многих наиболее древних сооружениях этого монастыря, как результат длительной консолидации глинистых грунтов озерных отложений. Эти деформации проявились в виде вертикальных трещин с максимальным раскрытием до 10–15 см с последующей неравномерной поперечной осадкой и разворотом деформируемой части стены (рис.21). Для стабилизации сооружений при подобных деформациях часто применяли контрфорсы.

На рис. 22 показаны контрфорсы, установленные для укрепления южного прясла стены монастыря. Именно на этом участке расположенные вдоль берега Сиверского озера крепостные сооружения имеют наиболее значительные деформации. На глубине 0,8–1,0 м переувлажненные супеси и суглинки с остатками органики в виде просло-

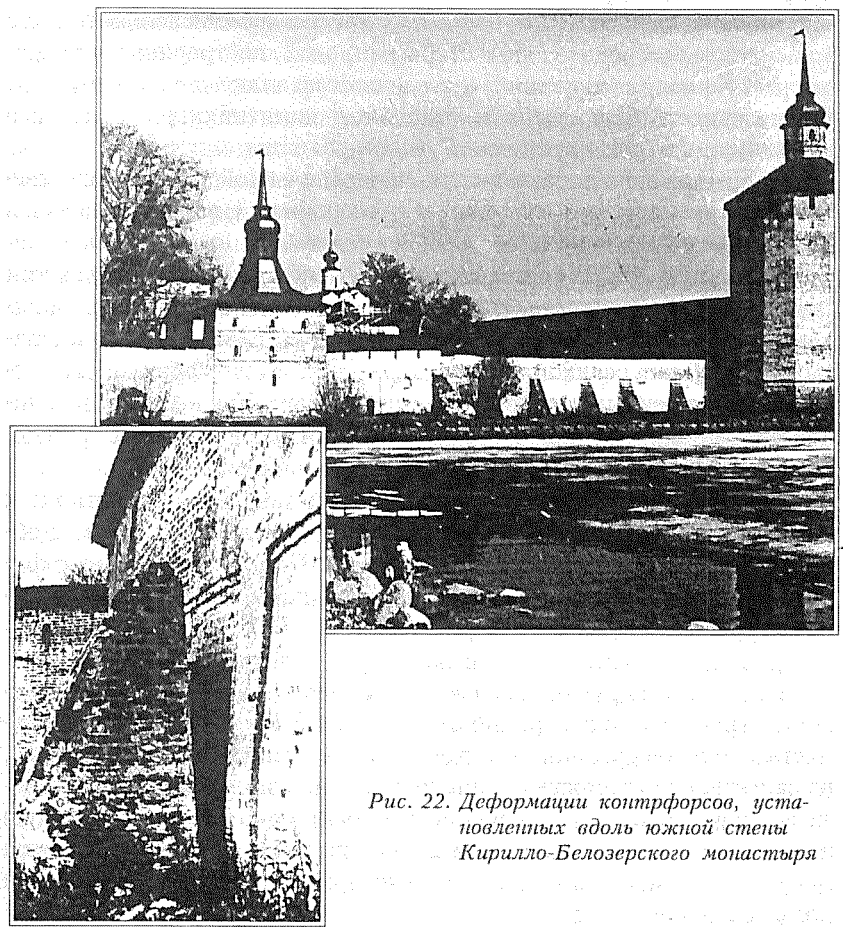


Рис. 22. Деформации контрфорсов, установленных вдоль южной стены Кирилло-Белозерского монастыря

ев и линз, залегающие под фундаментами стен и башен, при взаимодействии с природными факторами привели к развитию двух процессов. Первый связан с консолидацией глинистых грунтов, приводящей к появлению трещин в стенах, второй — с промерзанием и оттаиванием грунтов, сопровождающейся деформацией контрфорсов, их отрывом от стены и просадкой.

б) Аллювиальные отложения. Они широко представлены в пределах современных речных долин и за их пределами на всей равнинной территории Европейской части России. Это различные отложения, слагающие древние и современные террасы речных долин и занимающие важное место, поскольку наибольшее число памятников архитектуры сосредоточено в старых городах, построенных по берегам рек. К числу сооружений, возведенных на аллювиальных грунтах, можно отнести монастыри и отдельные памятники разбросанные вдоль крупных рек в пределах Русской равнины.

Эти отложения характеризуются определенной закономерностью пространственного размещения различных фаций, заключающейся в смене грунтов различного состава, а, следовательно, и свойств в пределах долины рек. В состав аллювиальных отложений входят три группы фаций: русловые, пойменные и старичные. Грунты аллювиальных отложений различны по составу — от галечников до иловатых и глинистых осадков. Содержание грунтов этих фракций, входящих в состав речных террас, бывает различным. Как правило, в долинах равнинных рек преобладающую роль играют песчаные грунты, состоящие из кварца (70–80%) и полевого шпата (20–30%).

Пойменные и старичные фации представлены глинистыми и иловато-глинистыми отложениями (супеси, суглинки, глины) и образуют современные пойменные террасы. При этом старичные фации, как правило, приурочены к границе пойменной и надпойменной террас.

Для пойменных отложений характерно наличие погребенных почв, линз и прослоев других образований. Все это придает им неоднородность строения и анизотропность их свойств. Наличие в составе глинистых грунтов органики придает им повышенную гидрофильность, влажность, сжимаемость и пониженное сопротивление сдвигу. В связи со значительными колебаниями уровня грунтовых вод в толще этих отложений (до 1,5–2,0 м в течение года) пойменные грунты могут подвергаться подсыханию, что приводит к их уплотнению и повышению прочности.

Русловая фация представлена в нижней части долин гравийно-галечным аллювием с песчаным крупнозернистым заполнителем и выше — крупными, средними и мелкими песками с линзами и прослоями глинистых грунтов, покрывающими их сверху.

Таким образом, в толще руслового аллювия прослеживается закономерное изменение его гранулометрического состава от грубого в нижней части к более тонкому материалу в верхней части разреза.

Во многих речных долинах Русской равнины отмечаются переуглубленные участки речных долин, выполненных глинистым, песчано-галечным или глыбовым материалом [13]. Эти переуглубления могут сыграть значительную негативную роль в сохранении памятников архитектуры. Наличие переуглублений обуславливает открытую гидравлическую связь грунтовых вод с нижележащими водоносными горизонтами. Региональное понижение уровня водоносных горизонтов может привести к резкому изменению гидрогеологических условий в сфере взаимодействия памятников, размещенных в местах переуглублений речных долин.

С точки зрения оценки инженерно-геологических свойств этих отложений, как оснований памятников архитектуры, следует отметить следующее. Стабильность грунтов этой фациальной группы как системы во многом зависит от стабильности ее гидравлической связи с основным водным потоком.

Если эта связь стабильна в верхней части сферы взаимодействия, где размещаются, например, деревянные сваи, то это безусловно предопределяет хорошую работу грунтов основания и сохранность памятника архитектуры. Следует отметить, однако, что условия взаимодействия природных факторов в этом случае весьма сложны и неоднозначны. И вряд ли можно рекомендовать в этом случае какие-либо готовые рецепты. Например, при сезонном понижении уровня грунтовых вод и обнажении деревянных свай влажность многих глинистых грунтов редко снижается ниже полной капиллярной влагоемкости (около 60% полной влагоемкости). А это исключает проникновение в сваи кислорода, аэробных организмов, и, следовательно, обеспечиваются условия для сохранения свай. Таким образом, простое понижение уровня грунтовых вод в пределах пойменной фации аллювиальных отложений еще не может служить однозначным основанием для ухудшения условий устойчивости памятника архитектуры.

Особенно характерна изменчивость состава и свойств аллювиальных отложений, слагающих речные террасы. В вертикальном на-

правлении в пределах толщи всех выделенных террас снизу вверх наблюдается укрупнение гранулометрического состава грунтов, а в пределах каждой террасы эта тенденция меняется — укрупнение частиц грунта прослеживается сверху вниз [13]. Эта особенность строения речных террас обуславливает изменение физико-механических свойств грунтов этой фации. Как правило, в направлении от высоких террас к пойме понижается прочность грунтов и их устойчивость, возрастает обводненность и амплитуда колебаний уровня грунтовых вод.

Давая инженерно-геологическую оценку аллювиальным отложениям, следует отметить, что наиболее благоприятными в отношении сохранения несущих конструкций памятников архитектуры являются песчаные грунты высоких террас. Естественная структура подсистемы сферы взаимодействия обеспечивает длительную стабильную устойчивость памятника архитектуры. И только значительные по масштабу природные и техногенные факторы, нарушающие стабильность естественного взаимодействия, приводят к значительным деформациям памятников архитектуры. Характер изменения структурных связей между конструктивными и природными элементами в системе "памятник — геологическая среда" под влиянием этих факторов будут рассмотрены в последующих разделах этой главы.

Примером надежной устойчивости памятников архитектуры, имеющих типовые конструктивные решения (объемные жесткие элементы конструкций, бутовые фундаменты с заглублением более 1,5–2,0 м, деревянные сваи) и расположенных в пределах высоких террас (плотные крупные пески с незначительными колебаниями уровня грунтовых вод), можно привести немало. Это ц. Троицы в селе Хорошово (XVI в.), ц. в селе Троицкое-Лыково (XVII в.) , ц. в селе Уборы (XVII в.), ц. Покрова в Филях (XVII в.); это монастыри: Ново-Спасский, Даниловский, Донской, Новодевичий и многие другие памятники архитектуры.

И, наоборот, при изменении инженерно-геологических условий нарушается сложившаяся структура взаимосвязанных конструктивных и природных элементов и памятники начинают испытывать значительные деформации. Это Воскресенский монастырь в Угличе, оказавшийся в сфере влияния обходной фильтрации воды из Угличского водохранилища; это Троицкий собор Ипатьевского монастыря в г. Костроме, попавший в зону подтопления водохранилища Горьковской ГЭС; это Макарьевский монастырь, испытывающий влияние

подтопления после подъема воды в водохранилище Чебоксарской ГЭС. Ниже будут подробно описаны подобные деформации некоторых из этих памятников.

Наиболее опасными для устойчивости памятников архитектуры, сооруженных на аллювиальных грунтах, в береговой зоне являются процессы боковой эрозии на вогнутой стороне излучины реки. Эти процессы особенно опасны там, где к центробежным силам водного потока добавляются силы Кориолиса. Именно на таком участке располагалась Преображенская церковь в селе Спасском-Тушине, построенная в XVI веке на крутом песчаном берегу р. Москвы. К 80-м годам XIX в. в конструкциях памятника появились значительные трещины и храм, по словам архитектора Грудзинского " в весьма непродолжительном времени угрожает падением". Грудзинский считал, что при "относительно большой толщине стен (1,5 аршина) можно ожидать, что церковь простояв почти 4 столетия, могла бы существовать еще втрое больше" [17]. Однако в 1884 г. церковь была разобрана по решению Московского губернского археологического комитета из-за аварийного состояния.

Причиной такого состояния памятника архитектуры послужили процессы боковой эрозии, которые резко активизировались после разборки в середине XIX в. берегоукрепительных белокаменных плит, закреплявших откос в течение всего периода существования храма.

Подобная история произошла со вторым по счету Исаакиевским собором в Санкт-Петербурге, построенным в начале XVIII в. на берегу Невы. Уже через семь лет после окончания его строительства в результате подмыва берега появились крупные трещины и собор был разобран.

Еще одним примером разрушения памятников боковой эрозией может служить обрушение северного склона Солотчинского монастыря в 1768 году, когда после подмыва аллювиальных отложений и затем схождения оползня обрушился крутой левый берег р. Солотчи и были разрушены участок стены и Покровская церковь (XV в.). По свидетельству монахов монастыря "берег этот давно подтачивала вода", но для его укрепления они ничего не смогли сделать. Единственно, что успели сделать монахи — это перенести за несколько дней до обрушения храма прах князя Олега и его жены Евфросиньи в соседний Рождественский собор [15].

Не менее опасной является обстановка, когда аллювиальные отложения непосредственно залегают на карбонатных или сульфатных

скальных породах, в которых развиты карстовые полости, пещеры. При образовании условий перетока верхнего водоносного горизонта в сдренированные карстовые толщи, возникает процесс суффозионного выноса мелких частиц грунта. В результате разуплотнения аллювиальных грунтов значительно снижается их несущая способность и возникающий ее дефицит приводит к резким и значительным деформациям памятников архитектуры, которые во времени могут развиваться в несколько этапов. Примером развития подобных деформаций может служить здание Александровского пассажа в Казани — памятника архитектуры XIX в.

Здание пассажа построено в 1874–1883 гг. на склоне, так называемого, Чернышевского хребтика, сложенного легко карстующимися карбонатными породами. Карстово-суффозионные процессы в историческом ядре Казани отмечались давно и неоднократно. Первые деформации пассажа, величиной до 60 мм, были отмечены еще в

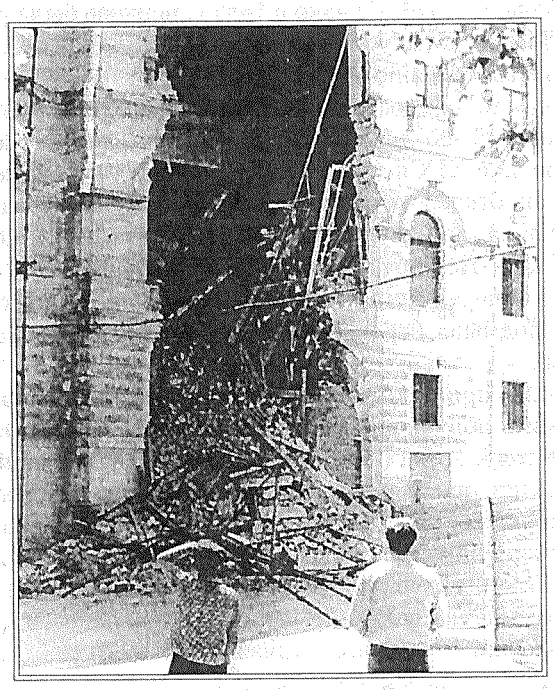


Рис. 23. Обрушение Александровского пассажа в Казани

1890 г. Затем в 20–30-е годы XX века вблизи здания были зафиксированы провалы и деформации близлежащих домов по ул. Джамиля. Подобные явления наблюдались и позже в 1941, 1968 и 1971 гг.

В 1977 г. над арочным проездом пассажа появилась серия крупных трещин, а затем проседание фундамента с отрывом части здания и образованием воронки под арочным проемом. В середине 1977 г. произошло полное обрушение этой части здания пассажа (рис. 23).

Максимальная осадка угловой части в начале 1977 г. составила 71 мм. Вблизи пассажа активные осадки дневной поверхности, отражающие суффозионные процессы, продолжались и в 1978 г. и с некоторым затуханием продолжаются до настоящего времени.

в) Лессовые грунты. Образование этих грунтов связано с деятельностью ветра или водных потоков. Эти отложения залегают почти сплошным покровом на юге Европейской части России, окаймляя территорию распространения ледниковых отложений. В пределах Русской равнины мощность лессов возрастает от первой надпойменной террасы к водоразделам и колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Особенностью лессовых отложений является их макропористость при общей пористости до 60%, механическая и фильтрационная анизотропия, легкая размокаемость в воде и просадочность. Последнее свойство лессовых грунтов является их наиболее важной инженерно-геологической особенностью. Явление просадочности лессов связано с изменением их плотности под влиянием переувлажнения.

Просадки лессовых грунтов чаще всего протекают быстро и вызывают серьезные деформации и разрушения зданий. Деформации сопровождаются наклоном, искривлением несущих конструкций, выпучиванием стен и широким развитие в них трещин с раскрытием до 10–20 см. В ленточных фундаментах под стенами памятников архитектуры часто возникают трещины в зонах максимального прогиба при неравномерной просадке лессовых грунтов.

В последние годы активизация процессов просадочности связана с подтоплением городских территорий. В связи с этим возникает необходимость в том, чтобы исключить замачивание и переувлажнение лессовых грунтов в основании памятников. Необходимо указать, что развитие деформаций в этих случаях может повторяться при неоднократных замачиваниях с различной скоростью в зависимости от продолжительности и величины замачивания лессов.

Примером деформации памятников архитектуры в зоне распространения лессовых грунтов может служить Сретенская церковь (XVII в.) Свенского монастыря, расположенного на правом коренном склоне р. Десны вблизи г. Брянска. Здание церкви имеет значительные деформации. Трещины наблюдаются на первом и во втором ярусах памятника. Особенно значительным деформациям подвергся северо-западный угол.

Фундаменты церкви непосредственно расположены на лессовых макропористых суглинках мощностью 4,2–6,4 м, под которыми залегают флювиогляциальные суглинки с линзами песка. На глубине 10–12 м четвертичные отложения подстилаются меловыми опоковидными глинами.

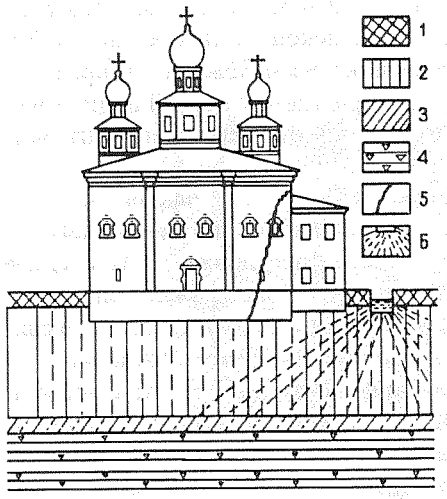


Рис. 24. Деформация Сретенской церкви Свенского монастыря при просадке лессовидных суглинков после их замачивания. 1 – насыпные грунты; 2 – лессовидные суглинки; 3 – флювиогляциальные суглинки; 4 – опоковидная глина; 5 – трещина; 6 – замоченные суглинки после утечки воды из отстойника.

В 10 м к северо-западу от здания церкви в семидесятые годы был расположен отстойник размером 2х2 м и глубиной 2,0 м, вода из которого инфильтровалась в грунт. В результате значительного нарушения условий нормального поверхностного стока и утечек воды из отстойника лессовидные суглинки оказались в переувлажненном состоянии (рис. 24).

Исследования этих грунтов подтвердили, что они уплотнились при увлажнении, под давлением северо-западной части и двухэтажной пристройки XIX в. и потеряли в значительной мере свои просадочные свойства. Коэффициент относительной просадочности при нагрузке 0,25 МПа для этих грунтов составил 0,022 и относит их к первому типу просадочности.

Потеря просадочных свойств сопровождалось просадкой лессовидных суглинков и деформацией памятника архитектуры, которая была выражена в виде отрыва и опускания угловой части здания на 10–12 см и в одновременном отклонении от вертикали карниза на 5–6 см (рис. 25).

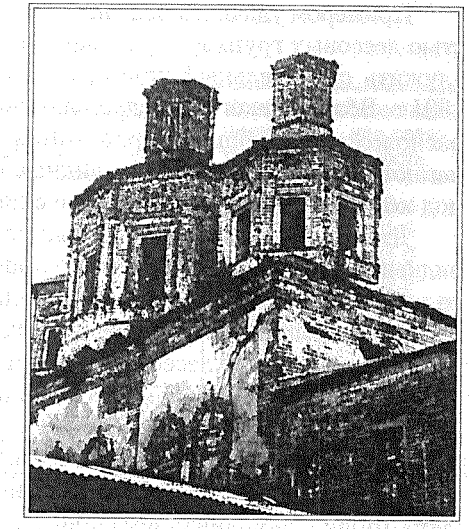


Рис. 25. Отрыв северо-западного угла Сретенской церкви

В ряде случаев лессовидные грунты, будучи переуплотненными действующими нагрузками от памятников архитектуры, теряют свои просадочные свойства. Однако, при значительном замачивании переуплотненные лессовидные суглинки и супеси снижают свою несущую способность на 10–30%. Создающийся при этом дефицит несущей способности приводит к появлению неравномерных осадок и развитию деформаций. Подобная ситуация возникла в конце 1994 года в Брянске, когда в результате утечек воды из теплотрассы, в несущих конструкциях Воскресенской церкви (XVIII в.) произошли серьезные деформации на участке между четвериком и апсидой. В итоге на южной стене образовалась деформационная зона осадочных трещин раскрытием до 10–15 мм, которые распространились также на свод и пол памятника. На рис. 26 показаны трещины в пределах апсиды Воскресенской церкви.

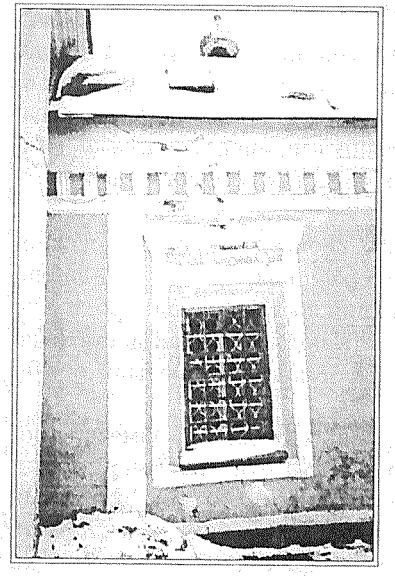


Рис. 26. Деформации Воскресенской церкви в результате просадки лессовидных суглинков

Примером удачного решения проблемы, связанной с просадочностью лессовых грунтов в основании памятников архитектуры может служить строительный прием, использованный при сооружении в 1891 г. Вознесенского кафедрального собора в Новочеркасске. Собор расположен на вершине городского холма, в основании которого залегают тугопластичные лессовидные суглинки мощностью до 15 м, под которыми находятся твердые скифские глины.

Для исключения просадочных явлений при замачивании лессовидных суглинков, что послужило причиной разрушения предыдущего храма, был использован небывалый для того времени прием борьбы, заключавшийся в сооружении под собором, на всю глубину залегания просадочных лессовых суглинков, котлована объемом более 21 тыс. м^3. Таким образом, лессовидные суглинки были полностью выбраны, а ленточные фундаменты уложены на скифские глины, что исключило развитие просадочных явлений. Происходящие в настоящее время деформации собора связаны с подтоплением окружающей территории и замачиванием скифских глин, что и явилось причиной для развития в них давления набухания.

г) Покровные отложения. Эти отложения мощностью от 3–5 до 20 м покрывают чехлом моренные гряды, водораздельные участки, их склоны и террасы. Покровные отложения представлены легкими, средними, реже тяжелыми пылеватыми суглинками, иногда супесями, макропористыми, известковыми, в южных областях региона — лессовидными и просадочными.

Некоторые показатели физических свойств покровных суглинков, встречающихся в пределах Русской равнины, приведены в таблице 6, из которой видно, что эти отложения достаточно однородны по основным показателям. Их сжимаемость под нагрузкой достаточно постоянна, а значения модуля общей деформации не превышают 10–15 МПа [13].

Лессовидные разновидности покровных суглинков заметно проявляют просадочные свойства. Коэффициент относительной просадочности при нагрузке до 0,3 МПа превышает 0,01, а в отдельных случаях достигает 0,057. Поэтому в южных областях, где мощность покровных суглинков максимальна, суммарная величина просадки может составить 0,15 и даже 0,3 м [13]. Покровные суглинки легко размокают и размываются, а при промораживание в них часто образуются шлиры льда. Поэтому при оттаивании они теряют несущую способность, а при динамических воздействиях проявляют тиксотропные свойства. При промораживание переувлажненных покровных суглинков в их толще развивается процесс морозного пучения.

Таблица 6

Физические свойства покровных суглинков

Район опробования	Число пластичности	Плотность грунта, г/см^3		Коэффициент пористости	Естественная влажность
		влажного	сухого		
Вязьма	10,2	1,88	1,55	0,74	20,8
Смоленск	10,1	2,02	1,65	0,68	21,8
Сергиев-Посад	12,9	1,97	1,61	0,68	23,0
Рязань	12,8	1,93	1,59	0,69	20,9
Коломна	11,2	1,85	1,56	0,74	19,3
Можайск	13,3	1,97	1,59	0,69	23,2
Подольск	16,7	1,98	1,61	0,69	22,9

Так, например, вершина Успенского холма Кирилло-Белозерского монастыря сложена покровными суглинками верхнечетвертичного возраста, которые при переувлажнении и промораживание приводят к знакопеременным деформациям в несущих конструкциях Успенского собора. Этот процесс носит незатухающий характер и способствует дальнейшему развитию трещин.

д) Техногенные накопления. Анализ и сравнение геологических разрезов исторических территорий центра европейской России показывает, что накопления техногенных толщ последнего тысячелетия голоцена обладают рядом специфических особенностей. Многометровая толща этих накоплений, став продуктом многовековой деятельности человека на исторических территориях*, определяет, как правило, неблагоприятные особенности инженерно-геологических условий.

Техногенные грунты сопровождают жизнь памятников архитектуры с самого начала, являясь либо основанием многих из них, либо средой размещения фундаментов, позже и цоколей, а в отдельных случаях и части первых этажей.

* Здесь трактовка этого понятия используется в контексте с содержанием книги. Историческая территория рассматривается как физическая субстанция со всеми учитываемыми атрибутами верхней части геологической среды, как земельное пространство с эдификаторными функциями и обозначенными границами, но с другой стороны историческая территория в этих границах остается носителем памятника истории и культуры, населенных мест, планировочной структуры, заповедных районов, ландшафтов и т.п.

Недостаток информации о техногенных накоплениях в пределах исторических территорий проявился при изучении причин деформаций ряда памятников архитектуры, когда отсутствие даже самых общих сведений мешало специалистам осуществлять диагностику.

Исследование исторических территорий показало, что толщи техногенных накоплений характеризуются значительной пространственной неоднородностью структуры, состава и свойств этих грунтов, что существенно определяет условия формирования дефицита несущей способности оснований памятников архитектуры.

Показатели состава, строения и состояния (влажность, плотность, пористость, водо- и газопроницаемость) техногенных грунтов и, что особенно важно, их деформационных и прочностных свойств оказываются существенно зависимыми от положения в разрезе. Это связано с тем, что в течение длительного периода развития исторических территорий, изменились характер и интенсивность формирования техногенных накоплений, что в конечном итоге и определило их свойства.

Однако сравнение разрезов техногенных накоплений на территории древних русских городов (Великий Новгород, Псков, Ростов Великий, Смоленск, Торжок, Торопец и др.) показывает присущие им некоторые общие закономерности, обусловленные уровнем технологий строительных работ и эволюционными преобразованиями в эпоху техногенеза.

С достаточной условностью в толще техногенных накоплений можно выделить две пачки, различающихся составом, строением и свойствами слагающих их грунтов. Верхняя пачка техногенных накоплений сложена обычно песчано-глинистыми грунтами с большим объемом отходов строительного материала (щебень, дресва известняка, магматических, метаморфических пород, обломки кирпича, древесины, керамики, металлические изделия, известь и т.п.), как правило, недоуплотненного и неслежавшегося в результате сухой отсыпки.

Состав и свойства этих грунтов отражают особенности строительных технологий XVI–XX в.в., связанных с использованием крупных земляных, гидротехнических, планировочных работ, широким использованием естественных каменных и искусственных материалов, древесины.

В верхней части этой пачки техногенных накоплений, приуроченной в основном к концу XIX–XX в.в., заметно проявляются следы химического загрязнения и засоления инфильтрующимися атмосферными осадками, например, водорастворимыми сульфатными и нитратными солями. Общее поле загрязнения на исторических территориях городов складывается в результате совокупного поступления от предприятий и автотранспорта токсичных продуктов на поверхности, в частности, таких как свинец, кадмий, ванадий, и др. С атмосферными осадками и талыми водами с дневной поверхности и из атмосферы в толщу техногенных накоплений попадают химические компоненты, способные существенно изменить состав и структуру техногенных грунтов. Поскольку эти грунты стали средой размещения фундаментов памятников архитектуры, то их взаимодействие значительно осложняет сохранность последних и требует самого тщательного исследования для исключения вредного воздействия физико-химических процессов на фундаменты. Кроме того, для техногенных грунтов, залегающих под фундаментами, создаются условия для их направленного изменения.

Нижняя пачка техногенных накоплений представлена черными и темно-бурыми гумусированными, органоминеральными грунтами, накопленными до XVI в. В большинстве случаев минеральной основой этих грунтов являются глины, суглинки, супеси и реже пески. В них встречаются остатки старых деревянных, реже каменных мостовых, следы древних укреплений, остатки фундаментов разрушенных храмов, засыпанных древних колодцев, гидротехнических сооружений.

Значительное влияние на изменчивость свойств техногенных накоплений, слагающих нижнюю пачку, оказывает содержащееся в них органическое вещество (остатки древесины, угля, растительный детрит, гумус и т.п.). Исследование этих техногенных грунтов показало, что в них содержание органических веществ составляет от первых процентов до 80%. Такой разброс содержания органического вещества относит эти грунты по существующим нормативам (ГОСТ 25200-95) к широкому диапазону их видов от заторфованных до торфов.

Органоминеральные грунты нижней пачки в пределах исторических территорий древнерусских городов залегают на глубинах, превышающих 1,5–2,0 м и оказываются в пределах активных зон сооружений памятников архитектуры. Процессы, протекающие в пределах этой пачки часто оказывают решающее значение на устойчивость памятников.

2.3. Роль гидрогеологических условий при сохранении памятников архитектуры

Важность правильной оценки роли гидрогеологических факторов в сохранности памятников архитектуры весьма значительна и имеет существенное значение при диагностировании причин нарушения состояния грунтов основания, фундаментов и стен памятников. С другой стороны, разнообразие и неопределенность условий влияния и проявления этих факторов и их недостаточная изученность служит серьезным недостатком для правильной интерпретации причин вызывающих те или иные проявления гидрогеологических факторов. Подобная путаница приводит порой к принятию абсурдных решений, приносящих иногда больший вред, чем сохранение первоначальных условий.

Наибольший интерес для инженера-геолога и реставратора представляют грунтовые воды, неглубоко залегающие от поверхности земли, и зона аэрации, т.е. те гидрогеологические объекты, которые наиболее тесно взаимодействуют с фундаментами памятников и определяют условия развития экзогенных геологических процессов в сфере взаимодействия памятника с геологической средой. Последняя может быть разделена на зону аэрации и насыщенную зону. В насыщенной зоне проницаемые грунты насыщены водой под гидростатическим давлением. В зоне же аэрации поровое пространство не заполнено водой под гидростатическим давлением, а в виде водоносных горизонтов могут быть только спорадические сезонные воды (верховодка), которые образуются на непроницаемых грунтах. Если непроницаемые грунты лежат между насыщенными и ненасыщенными, их условно относят к зоне аэрации.

Обычно существует одна зона аэрации и одна насыщенная зона, находящаяся ниже зоны аэрации. Однако, в некоторых случаях могут быть выделены две и более зон каждого ряда. Если выделены две зоны аэрации, то нижняя зона аэрации находится между верхней и нижней насыщенными зонами.

Зона аэрации по отношению к находящейся в ней воде и ее циркуляции может быть разграничена на три пояса: пояс почвенной влаги, промежуточный и капиллярную оболочку.

Пояс почвенной влаги находится непосредственно в приповерхностной зоне, откуда вода переходит в атмосферу в значительном количестве в результате ее транспирации растениями и испарения с поверхности земли. Мощность этого пояса различна в зависимости

от типа почвы и растительности. Там, где поверхность имеет травяной покров, она составляет 0,1–0,15 м, и гораздо больше на территории садов и парков. Влажность почвенного слоя определяется гигроскопической водой, молекулярное сцепление которой предохраняет ее от испарения, и которая определяет ее равновесие с атмосферной парообразной водой. Почвенная вода образуется в момент взаимодействия влажного воздуха с сухой почвой.

Капиллярная оболочка определяет пояс, расположенный выше насыщенной зоны, содержащий капиллярные поры (> 0,1 мк) и находящийся в непрерывной связи с зоной, насыщенной водой. Вода капиллярной оболочки держится выше этой зоны под влиянием капиллярных сил на высоту обратно пропорциональную диаметру пор грунта. Поэтому высота капиллярного поднятия зависит от текстуры грунта и его влажности. Для сухих песков высота капиллярного поднятия составляет несколько десятков сантиметров (среднезернистые пески — 0,15–0,35 м; мелкозернистые пески — 0,35–1,0 м). Во влажном состоянии высота капиллярного поднятия у песков увеличивается в 3–4 раза [44]. Для супесей эта величина составляет 1,0–1,5 м, у илистых грунтов до 2,4 м, суглинков — до 3–4 м. В глинах капиллярная вода может подниматься до 8,0 м, в лессах — до 4,0 м.

Поднятие воды в грунте по капиллярным порам можно определить по формуле:

$$H_k = 0{,}3 \ / \ d$$

где: H_k — высота капиллярного поднятия, см ; d — диаметр капилляра, см.

Следует отметить, что в зоне уплотнения грунтов основания под действием нагрузок от фундаментов высота капиллярного поднятия закономерно уменьшается с увеличением объемного веса грунта. Так, значительное уплотнение глинистых грунтов может привести к полному прекращению капиллярного поднятия воды за счет того, что при уплотнении образуются ультрапоры, полностью заполненные связанной водой [44].

Высота капиллярного поднятия воды в грунтах сферы взаимодействия памятника может служить величиной, корректирующей принятие тех или иных инженерных решений, направленных на нейтрализацию негативных изменений состояния грунтового основания, обусловленного его влажностью. Так, например, проникновение в грунты основания капиллярной воды вызывает снижение его связности и прочности.

На высоту капиллярного поднятия также влияет химический состав воды, в частности, присутствие в воде хлористого и сернистого натрия во влажном покровном суглинке приводит к тому, что поднятие раствора этих солей по капиллярам происходит поразному. Проникновение раствора этих солей приводит к тому, что в нижней части суглинков преобладают сульфаты, а в верхней — хлориды, и большее содержание последних в верхней части разреза связано также с тем, что хлориды диффундируют быстрее, чем сульфаты. Учитывать это особенно необходимо сейчас, когда в борьбе с обледенением тротуаров и дорог применяют соль, которая затем с инфильтрацией поверхностных вод снова мигрирует по капиллярам вверх.

В этом случае подъем воды сначала по капиллярам грунтов основания, а затем строительных материалов фундаментов и стен вызывает появление сырости не только в несущих конструкциях и интерьерах, но приводит к проникновению соляных ингредиентов в известковый раствор, естественный строительный материал, штукатурный слой и к их химической деструкции.

Капиллярное движение воды в грунтах происходит не только снизу вверх, но и в стороны, вследствие воздействия капиллярных сил, возникающих на границе раздела различных компонентов: грунта основания и материала фундамента. В их основе лежат силы молекулярного взаимодействия воды и воздуха с внутренней поверхностью порового пространства материала кладки, в ее смачивании и образовании в порах менисков, определяющих подъемную силу.

Между почвенными водами и капиллярной оболочкой размещается промежуточный пояс зоны аэрации. Вода, попадающая в эту зону, погружается вниз силой тяжести в насыщенную зону или удерживается в капиллярных порах переходного пояса и называется водой промежуточного пояса. Верхняя и нижняя граница промежуточного пояса определяется местными условиями, обуславливающими особенности режима влажности грунтов зоны аэрации. Положение верхней границы зависит от типа растительности, мощности почвенного слоя, продолжительности и интенсивности инсоляции, альбедо дневной поверхности, величины инфильтрации. Граница капиллярной оболочки определяется типом грунтов и их пористостью.

Промежуточного пояса зоны аэрации может и не быть и тогда капиллярная оболочка вплотную подходит к почвенным водам. Подобная картина возникает при подтоплении исторических территорий. В этом случае происходит прямой переход грунтовых вод в атмосферу с помощью испарения.

Возможность изменения влажности грунтов зоны аэрации во времени и пространстве зависит от влияния факторов, определяющих распределение влаги в этой зоне. В частности, влажность грунтов зоны аэрации зависит от всасывающей способности грунтов, а она прежде всего зависит от их состава. На состояние влажности грунтов оказывает влияние и состояние поверхностной инфраструктуры, определяющей испарение. Поэтому, в обычных условиях влажность грунтов, по мере приближения к поверхности из-за повышения испаряемости, снижается, а при просачивании атмосферных осадков, влажность грунтов увеличивается. Однако, когда поверхность покрыта паронепроницаемыми материалами, такими как бетон, асфальт, испаряемость резко снижается и влажность грунтов заметно увеличивается, несмотря на исключение просачивания атмосферных осадков. Таким образом, естественная влажность грунтов зоны аэрации отражает влияние как состава грунтов, так и условий инфильтрации и испарения.

На характер испарения также оказывают существенное влияние сами памятники архитектуры, под которыми оно уменьшается или полностью исключается. Это приводит к увеличению влажности грунтов зоны аэрации, особенно в центральной части зданий. "Народная" технология содержания зданий русской архитектуры выработала способы борьбы с накоплением влаги под зданиями, заключающиеся в устройстве подполья, проветриваемого летом. Такой мерой удавалось обеспечить испарение влаги из пор грунтов и исключить возможность полной всасывающей способности грунтов. Этот прием позволял исключить накапливание влаги в грунтах под зданием памятника и дальнейшее ее проникновение внутрь несущих конструкций и интерьеров.

В качестве примера можно привести ц. Покрова на Нерли, где существующая подпольная вентиляция весьма благоприятно влияет на влажностной режим памятника, снижая влажность раствора кладки до 4–6%, тогда как в Дмитровском соборе во Владимире, не имеющем подполий, влажность известкового раствора достигает 18% [12].

Весьма важным элементом памятников для снижения влажности грунтов зоны аэрации вблизи фундаментов служили отмостки. Они выполнялись в дискретном варианте из мелкого валунника, булыги или кирпича на песчаной подушке и при заданных достаточно ак-

тивных уклонах обеспечивали отвод атмосферной влаги от здания и сохраняли благодаря пустотам и швам условия для испарения влаги из грунтов зоны аэрации.

Важнейшую роль в снижении сохранности фундаментов и деревянных субструкций в основании, в создании условий для развития негативных экзогенно-геологических процессов играют фундаментные воды, средой формирования которых служит межглыбовое пространство валунных и бутовых фундаментов. По сути это техногенные воды трещинно-порового типа, имеющие локальное распространение в пределах ленточных фундаментов, поскольку фундаменты представляют собой наброску из уложенных насухо валунов с межвалунным пространством, заполненным битым кирпичом, булыгой, суглинком, известковым раствором. Формированию фундаментных вод способствует размещение фундаментов, как правило, в слабопроницаемых техногенных и верхнечетвертичных отложениях, сложенных техногенными и заторфованными суглинками, ледниковым комплексом глинистых и песчано-глинистых грунтов, обладающих гидрофильностью и крайне низкими фильтрационными свойствами. Эти грунты обеспечивают относительную изолированность фундаментных вод и их локализацию в пределах несущего элемента памятника архитектуры, что позволяет выделить их в специальный вид грунтовых вод.

Питание фундаментных вод осуществляется, как правило, за счет прямого попадания поверхностных и атмосферных вод, из-за вышедшей из строя отмостки, нарушенной поверхностной инфраструктуры территории памятника, часто создающей обратные уклоны и осложняющей эвакуацию атмосферных осадков от памятников, а также от утечек воды из водонесущих коммуникаций, за счет миграции конденсационной влаги, образующейся из-за разницы парциального давления водных паров на границе грунтов и фундаментов, имеющих разную температуру, и попадающей в конечном итоге в фундаменты при оттаивании сезонно-мерзлого слоя. Разгрузка фундаментных вод осуществляется за счет перетока в грунтовые воды, испарения и за счет миграции влаги вверх по стенам памятника путем капиллярного подсоса.

Впервые фундаментные воды были вскрыты в 1994 г. при изучении оснований и фундаментов Успенского собора в Ростове и Спасо-Преображенского собора в Белозерске. Позднее они были выявлены при изучении фундаментов ц. Спаса на Сенях и Богоявленского собора Авраамиевого монастыря в Ростове Великом и во многих других памятниках. Водопритоки фундаментных вод в шурфы составляли не более 0,5–1,0 м^3/час, что позволяет оценить коэффициенты фильтрации валунной кладки фундаментов от 5–10 м/сут до 20–25 м/сут. Следует отметить, что при проходке шурфов грунтовые воды, как правило, не были встречены, однако при вскрытии и зачистке фундаментов с поверхности после завершения проходки шурфов проявляется высачивание и струйчатые выходы фундаментных вод.

Немалую роль в условиях сохранения несущей способности грунтового основания и в развитии многих процессов играет верховодка. Она образуется в пределах зоны аэрации, когда имеются линзы слабопроницаемых грунтов. Атмосферные осадки или талые воды, проникающие в зону аэрации, задерживаются на поверхности этих малопроницаемых грунтов. В результате такого скапливания воды формируется горизонт верховодки, исчезающий при условии стока с поверхности линзы, инфильтрации через нее или испарения. Образованию верховодки способствует отсутствие необходимого благоустройства территорий, примыкающих к памятникам архитектуры. Обратные уклоны, бессточные канавы, понижения, "ленивые" уклоны и другие дефекты планировки, неисправные или неверно выполненные отмостки, устройство снежных свалок вокруг памятника снижают поверхностный сток. В частности, все перечисленные факторы служат основной причиной формирования верховодки в основании Останкинского дворца в Москве, Успенского собора Троице-Сергиевой Лавры. Протекающие на территории этих памятников процессы морозного пучения и осадок, обусловлены отрицательным воздействием верховодки на увлажнение грунтов основания.

Характерной особенностью верховодки является ограниченность ее распространения и непостоянство во времени. Последнее существенно влияет на сохранность деревянных субструкций под фундаментами или органических включений в пределах грунтовых оснований, в которых появляется верховодка. Она влияет на формирование влажности фундаментов и пылевато-глинистых грунтов, что существенно сказывается на их поведение при промораживании. Подробнее об этом будет изложено в следующем разделе.

Просачивающаяся вода через зону аэрации перемещается под действием гравитационных сил сверху вниз до первого водоносного горизонта и ее дальнейшее передвижение в виде грунтового

потока, называемого грунтовыми водами, осуществляется уже под влиянием разности напоров. При этом, просачивающаяся вода оказывает местное воздействие на изменение свойств грунтов зоны аэрации. Так, при ее перемещении через глинистые, лессовые и другие связные грунты, происходит потеря их прочностных свойств лишь на пути движения воды. В других местах зоны аэрации прочность грунтов сохраняется. В пределах грунтового потока вода изменяет свойства в пределах всего пласта, по которому она движется [9].

Грунтовые воды представляют наибольший интерес при оценке их влияния на сохранность памятников архитектуры, поскольку их присутствие часто оказывает прямое воздействие на грунты основания и фундаменты. Особенно заметно это проявляется при значительных колебаниях зеркала грунтовых вод и капиллярной оболочки в течение года, когда они при снижении питания, перемещаясь ниже максимального уровня, обнажают деревянные субструкции, которые подвергаются гниению.

Колебания водного зеркала вызывается главным образом нерегулярностью питания насыщенной зоны и неодинаковыми условиями испарения в разное время суток и года. Наиболее обычны для средней полосы России суточные и годовые циклы колебаний. Суточные циклы связаны с изменением испарения, атмосферного давления и температуры в течение дня. Годовые циклы фиксируют колебания вследствие сезонных различий испарения, атмосферных осадков, накопления и таяния снега, образования мерзлого грунта. На застроенных исторических территориях эти циклы корректируются самопроизвольными утечками из водопроводящих коммуникаций, интенсивностью застройки и, так называемым, благоустройством примыкающей к памятнику территории, нарушающим часто благоприятные условия для поверхностного стока и испарения. В ряде случаев эти факторы приводят к подъему зеркала грунтовых вод до 2,5–3,0 м/год.

Застройка исторических территорий, покрытие их асфальтом, снижение инфильтрационного питания за счет сбора и сброса атмосферных вод в водосточную систему и особенно в результате снегоуборки, сокращение растительного покрова в условиях значительной урбанизации центров исторических городов, годовые амплитуды колебания зеркала грунтовых вод заметно сокращаются, уменьшаясь в ряде случаев на 50% и более [1].

Грунтовые воды представляют значительную опасность для сохранения памятников архитектуры в тех случаях, когда они, будучи гидравлически связаными с реками, после создания водохранилищ подвергаются значительному подъему, постепенно распространяющемуся на большие расстояния. Это становится причиной появления заболоченных участков, затопления подвалов, подклетов, появления фундаментных вод. Кроме того, подъем уровня грунтовых вод приводит к региональному повышению влажности грунтов оснований памятников архитектуры до состояния полной влагоемкости, что может привести к возникновению дополнительных и неравномерных осадок. Наиболее опасны такие осадки в случаях, когда в основании памятников архитектуры залегают лессовые грунты, недоуплотненные пески и супеси.

Повышение уровня грунтовых вод приводит к гидростатическому и гидродинамическому разуплотнению песчано-глинистых грунтов, гидротационному набуханию и размягчению глинистых грунтов. Все эти изменения сопровождаются снижением прочности грунтов, уменьшением сопротивляемости сжатию и сдвигу. С повышением уровня грунтовых вод связано вертикальное перемещение зон капиллярной оболочки и аэрации.

В результате увлажнения глинистых грунтов происходит их набухание, при котором увеличивается объем грунта и снижается его прочность вследствие ослабления сцепления между частицами. Исследования [44] показали, что для песчано-глинистых грунтов при увлажнении модуль деформации снижается: для песков на 14–50%, для суглинков — в 2–4 раза. При изменении в результате увлажнения консистенции суглинков от твердой до пластичной, удельное сцепление снижается в 2 раза. Величина набухания (увеличение объема грунта в %) для моренных суглинков составляет в среднем 0,5–1,0%, для юрских суглинков — 6,5–11,5%.

Имеется немало примеров, когда подъем уровня грунтовых вод, в результате создания водохранилищ или подъема уровня воды в озерах, при создании различных гидротехнических систем, привел к серьезным разрушениям уникальных памятников архитектуры. К числу таких памятников следует отнести Кирилло-Белозерский монастырь, оказавшийся в подтопленном состоянии, из-за подъема воды в Сиверском озере (1,8 м), вошедшем в Северо-Двинскую судоходную систему в начале XIX века. Протекающий по территории монастыря ручей Свияга, из-за создавшегося подпора, перестал выполнять дре-

нажную функцию, что привело к подъему уровня грунтовых вод и подтоплению нижней части монастырской территории. В результате резко активизировались процессы морозного пучения, произошло снижение несущей способности грунтов основания и развитие серьезных деформаций. На рисунке 27 показаны участки стен, подвергшихся деформациям осадочными трещинами и меры по сохранению стен от дальнейшего разрушения — берегоукрепительная валунная наброска для предотвращения переработки берега и устройство контрфорсов.

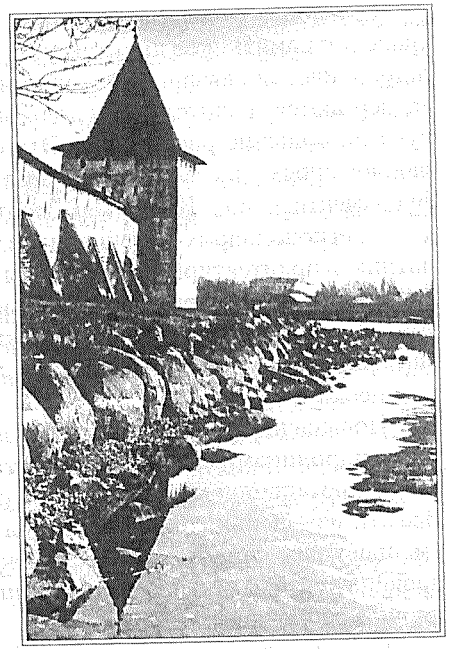


Рис. 27. Берегоукрепительная валунная наброска вдоль берега Сиверского озера

При создании водохранилищ бывают случаи, когда исторические территории оказываются ниже уровня воды и гидростроители вынуждены обваловывать эти территории и создавать принудительное дренирование грунтовых вод. Так произошло с Макарьево-Желтоводским монастырем. В результате подъема уровня воды в Волге при строительстве Чебоксарской ГЭС были созданы невозможные условия для физического сохранения и эстетического восприятия одного из красивейших монастырей России. Предусмотренное проектом обвалование вокруг монастыря и устройство по его периметру дренажной системы, не защитило его территорию от заболачивания и подтопления, поскольку динамический режим грунтовых вод определен не только условиями замкнутой области бессточного питания, но и распорядком работы водохранилища.

Колебания уровня грунтовых вод могут быть и внутривековыми, с продолжительностью циклов между ними в несколько лет. Их повторяемость связана с проявлением различных атмосферных макроциркуляций, колебанием общего количества атмосферных осадков,

ходом зимнего режима температуры на территории России. Наиболее хорошо изученным является 11-летний цикл, связанный с периодичностью солнечной активности.

В последние десятилетия, из-за интенсивного водоотбора из напорных водоносных горизонтов, происходит снижение их пьезометрической поверхности и через трещины и литологические окна в верхнем водоупоре начинают перетекать грунтовые воды в созданные в напорном горизонте зоны осушения. Антропогенные изменения естественного режима подземных вод, в результате перетока приводят к снижению уровня грунтовых вод и образованию опасных для памятников архитектуры инженерно-геологических процессов и явлений.

Понижение уровня грунтовых вод влечет за собой изменение состояния грунтового массива в основании памятников архитектуры, в частности, к гидростатическому уплотнению рыхлых грунтов, в связи с уменьшением взвешивающего влияния воды, к разуплотнению дисперсных грунтов, вследствие деструкции органических включений (древесы, костей, торфа, ила) , к дегидратационному уплотнению песчано-глинистых грунтов, из-за уменьшения их влажности. В результате этих изменений происходит деформация дневной поверхности, увеличение зоны аэрации, активизация окислительных процессов, увеличение глубины промерзания грунтов, а с другой стороны, при уменьшении влажности происходит снижение вероятности морозного пучения.

Наибольшую угрозу сохранности памятникам архитектуры представляют процессы гидростатического и дегидратационного уплотнения грунтов и окисления органики в основании, поскольку с ними связаны явления осадок и деформаций памятников.

2.4. Влияние современных геологических процессов на устойчивость исторических территорий

Современное состояние памятников русской архитектуры осложняется развитием на исторических территориях неблагоприятных геологических процессов и явлений, представляющих потенциальную опасность риска для сохранения в будущем архитектурного наследия. Изучение опасных процессов, выявление степени их опасности, локализация и оценка возможности управления для их полного предотв-

ращения становится одной из основных задач по сохранению памятников архитектуры.

На территории Русской равнины развиты разнообразные по масштабу и характеру проявления геологические процессы. Однако наиболее существенную роль в сохранении памятников играют карст, суффозия, оползни и морозное пучение. Развитие некоторых из них связано во многом с неблагоприятными природными факторами: избыточным увлажнением глинистых грунтов, значительной продолжительностью холодного времени года и при этом большой глубиной промерзания грунтов, а также крайне сложной геоэкологической обстановкой, а именно, подтоплением исторических территорий, химическим загрязнением грунтов и грунтовых вод.

Карстовые процессы развиты на западе (Тверская область), северо-западе (Псковская, Новгородская области), севере (Вологодская, Архангельская области), юге (Московская, Тульская, Нижегородская области) и востоке региона (Пермская область) и приурочены к карбонатным и галогенно-карбонатным породам. Внешним признаком проявления карста служат провальные воронки диаметром от первых метров до 100–200 м, глубиной от 2 до 30 м [13]. Образующиеся воронки имеют блюдцеобразные формы, иногда заполнены, в некоторых случаях имеют поглощающие понуры, реже образуют карстовые озера. Одно из них — легендарное озеро Светлояр в Нижегородском Заволжье — образовалось на месте исчезнувшего в провале города Китежа в раннем средневековье. Сравнительно недавно в карстовой воронке глубиной 1,5 м, недалеко от Ясной Поляны образовалось озеро, затопившее расположенный вблизи лес. Серьезная опасность для сохранения собора Михаило-Архангельского монастыря в Старой Руссе возникла в середине 70-х годов нынешнего столетия после образования вблизи памятника карстовой воронки диаметром 3–5 м.

В пределах центральной части Русской платформы, где широко представлены карбонатные породы, встречаются в основном палеокарстовые формы в виде каверн, трещин, полостей разных размеров. В целом, скорость развития карста в карбонатных породах, залегающих ниже местного базиса дренирования, невелика и не превышает, по данным В.П. Зверева, 0,25 г/км^2 [24]. Активизация карстового процесса в этих условиях возможна только под влиянием антропогенной деятельности человека, когда его интенсивность может возрасти на порядок [16].

В настоящее время различные направления действий в освоении подземного пространства, влияние разных видов хозяйственной и инженерной деятельности, создали необходимые предпосылки для оживления карста. Такой карст получил название антропогенный. Его развитие в основном обусловлено изменением химического состава атмосферных осадков, гидрогеологических условий, режима и интенсивности поверхностного стока, увеличением агрессивности поверхностных и подземных вод.

Антропогенный карст особенно опасен, когда растворению подвергаются сульфаты (гипсы, ангидриты) и соли. Растворимость сульфатов и особенно солей значительно выше, чем карбонатных пород, поэтому на территориях распространения этих пород активизация карста наиболее заметна.

Сульфатный карст развит на северо-востоке региона, где распространена мощная гипсово-ангидритовая толща пермской системы. Карст затрагивает некоторые исторические города и территории Нижегородской, Костромской и Пермской областей, а также Татарстана (г. Казань). Для этих районов развития гипсового карста характерно ежегодное образование провалов земной поверхности диаметром 10–12 м, числом от 0,1 до 1 на 1 км^2 [13].

Еще более опасен соляной карст, поскольку при высокой растворимости (выше 300 г/л) каменной соли, этот вид карста в благоприятных условиях развивается довольно быстро. Выщелачивание солей приводит к образованию мульд проседания дневной поверхности значительных размеров, протяженностью до 5–15 км и глубиной до 30–70 м. При неглубоком залегании растворимых пород происходит развитие антропогенного соляного карста. Особенно активизируется этот процесс при нарушении гидрогеологических условий откачками воды, созданием водохранилищ, утечками воды, что связано с активным водообменом с толщами растворимых пород.

В зоне влияния соляного карста оказались исторические города Пермской области: Соликамск, Усолье, Чердынь. Значительный по размерам провал произошел на территории калийного месторождения вблизи г. Березняки, где выщелачиванию были подвергнуты отложения соликамской свиты.

Совместно с образовавшимися карстовыми формами, после нарушения естественного гидродинамического режима и создания условий для перетока подземных вод из песчано-глинистых пород возникает опасность развития суффозионно-карстовых процессов. Необ-

ходимая для этого процесса гидродинамическая сила создается чаще всего за счет сработки статических запасов нижележащих водоносных горизонтов, способствующей усилению водообмена и притока воды из смежной вышележащей области, из которой просачивание происходит при значительных гидравлических градиентах (>5) и турбулентном движении воды.

Для выноса частиц грунта необходима определенная структурная неоднородность толщи, из которой поступает вода. Эта неоднородность может быть оценена коэффициентом неоднородности:

$$K_н = d_{60} / d_{10}$$

где: d_{60} — определяет размер частиц, мельче которых в грунте содержится 60% частиц; d_{10} — диаметр частиц, суммарное содержание которых в грунте составляет 10%.

Неоднородными считаются пески, коэффициент неоднородности которых $K_н > 3$. К подобным неоднородным пескам, в которых может протекать суффозионный процесс, связанный с перетоком подземных вод в сдренированные закарстованные известняки, могут быть отнесены, например, флювиогляциальные и алловиальные четвертичные пески.

Одним из основных критериев оценки карстово-суффозионной опасности принимается мощность слабопроницаемых глин, перекрывающих закарстованные известняки. Принято считать, что при мощности глин менее 10 м вероятность суффозионно-карстовых процессов становится высокой. Так, для исторической части г. Москвы подобная опасность приходится на территорию, составляющую около 15% и приуроченную к погребенным долинам рек Москвы, Яузы, Неглинки и их притоков.

В естественных условиях суффозия развивается чаще на склонах, дренирующих грунтовые воды. Суффозионный вынос мелких песчаных частиц приводит к ослаблению склонов и способствует их оползанию. В качестве примера образования оползней при проявлении суффозии можно указать на случай образования оползня у стен Васильевского монастыря в г. Суздале. До 1996 г., когда произошел оползень (рис. 28), в течение ряда лет в мочажинах нижней части склона накапливался выносимый грунтовыми водами тонкий песчаный материал из водонасыщенных песков, подстилающих толщу покровных суглинков.

Естественная суффозия послужила причиной деформации физического корпуса МГУ, построенного в 1904 г. на территории засыпанного Успенского оврага. Грунтовый поток, дренируемый оврагом в течение ряда лет, выносил тонкие частицы грунта, что привело к разрыхлению основания и появлению серьезных деформаций в южном крыле здания.



Рис. 28. Оползень на левом склоне долины р. Каменки рядом с Васильевским монастырем в Суздале

Однако техногенная суффозия, обусловленная изменением гидродинамического режима водоносных горизонтов, по своей интенсивности и масштабам превосходит естественную. Чаще она возникает в условиях значительной разгрузки постоянных водоносных горизонтов в закарстованных породах при строительстве подземных сооружений, сопровождающемся откачкой больших водопротоков, или сооружении постоянных водозаборов. Так, начиная с 60-х годов нашего столетия, при интенсивном освоении подземного пространства в Арбатской части г. Москвы, приуроченной к категории карстово-суффозионной опасности [24], стали заметно проявляться суффозионные оседания территорий и зданий исторической застройки и памятников архитектуры. В это же время активизировались: провальные воронки вблизи дома К. Мельникова в Кривоарбатском переулке; деформации в зданиях памятников архитектуры первой трети XIX века (Пречистинский бульвар, д. 9, 10); дома, принадлежащего просветителю Н. И. Новикову (XVI–XIX вв.) и , наконец, произошло образование мульды оседания поверхности вблизи здания книгохранили-

ща Российской Государственной библиотеки в период строительства станции метро "Боровицкая", повлекшей быстротечную осадку западного крыла здания на 132 мм.

Существенную опасность для сохранности памятников архитектуры создают оползни. Известны случаи, когда оползневые процессы приводили к полному уничтожению крупных памятников архитектуры. Подобная катастрофа произошла с Печерским монастырем вблизи Нижнего Новгорода, основанным в XIV веке на волжском берегу, ниже ныне существующего монастыря почти на километр. В 1597 году весь склон, на котором размещался монастырь, сдвинулся вниз и переместился в сторону Волги более чем на 100 м [2]. Разрушения оказались настолько значительными, что восстановление монастырских построек на прежнем месте стало невозможным и он был перенесен в сторону города.

Неудачей окончилась попытка строительства в Москве первого храма Христа Спасителя на склоне Воробьевых гор, предпринятая архитектором А. Л. Витбергом. Начатое в 1817 году сооружение памятника героям Отечественной Войны 1812 г. в виде террасированного трехъярусного ансамбля, спускающегося к реке Москве, уже при заложении котлована для нижнего храма выявило невозможность дальнейшего строительства. Связано это было с тем, что нижний храм, посвященный памяти "убиенных за Отечество воинов" и запроектированный в виде параллелограмма, должен тремя сторонами врезаться в оползневой склон, для чего земляными работами "надлежало прежде всего огромные холмы (гряды оползневых бугров, Е.П.) и овраги дикого косогора привесть в горизонтальную линию нижней площади" [5].

Съем для этой цели значительного объема грунта, служившего естественным контрфорсом, активизировал дренирование многочисленных источников в этом месте и снизил устойчивость всего оползневого склона. Развившиеся в процессе строительства нижнего храма оползневые явления резко осложнили и затянули начатые работы, которые из-за невозможности их дальнейшего продолжения в 1827 г. были полностью прекращены.

Используемый древними зодчими строительный принцип "как мера и красота скажут" часто приводил к выбору места для строительства сооружений либо на склонах, нередко оказывающихся оползневыми, либо на возвышенных местах речных долин, склоны которых со временем под влиянием изменившихся естественных условий становились оползневыми.

В речных долинах оползни приурочены к участкам наиболее высоких и крутых склонов Среднерусской и Приволжской возвышенностей и широко развиты в четвертичных отложениях. Наиболее сильно затронуты оползнями склоны речных долин, сложенных ледниковыми, ледниково-морскими отложениями и современными техногенными накоплениями, покрывающими северную и центральную части Русской платформы. В ледниковом комплексе наибольшую вероятность образования оползней имеют озерно-ледниковые отложения, представленные часто фацией ленточных глин, создающих благоприятные условия для оползневых смещений.

Немало значительных по объему оползней отмечается на территориях памятников, где склоны рек сложены моренными отложениями, хотя и отличающимися высокой прочностью и слагающими достаточно устойчивые склоны высотой 30–40 м. Иллюстрацией сказанного может служить историческая территория "Коломенское", где храмы Большое Вознесение и Иоанна Предтечи (XVI в.) расположены вблизи крутого оползневого участка, сложенного наряду с более древними отложениями и четвертичными моренными образованиями, не затронутыми пока оползневыми подвижками.

Оползни, связанные с ледниковым комплексом, встречаются на территории Новгородской, Псковской и Тверской областей, где в целом долины рек имеют небольшую глубину (10 –20 м). Южнее, где развиты лессы, число оползней в толще четвертичных отложений уменьшается.

На рассматриваемой территории в середине 90-х годов было отмечено широкое проявление оползневых процессов вблизи крупных памятников архитектуры. Оползни 1994 года под стенами Спаса-Евфимиева и Васильевского монастырей г. Суздаля, оползень 1995 года на северном склоне холма Сион, на котором расположен Ново-Иерусалимский монастырь и, наконец, оползень 1996 года на северном склоне Печерского монастыря в Нижнем Новгороде. По масштабам проявления они относятся к поверхностным, мелким — площадью до 0,003 км ^{2} и глубиной захвата пород в основном до 1,0–6,0 м, иногда до 8,0–10,0 м. Размеры их сравнительно небольшие, так протяженность фронтальных оползней достигает нескольких десятков метров, иногда чуть больше 100 м, ширина — первые десятки метров. Например, оползень у стен Васильевского монастыря имел длину 110 м и ширину 20–25 м (рис. 29),а длина глетчерного оползня у стен Печер-

ского монастыря в Нижнем Новгороде составила 30—40 м при ширине 11–12 м (рис. 30).

Длина пути смещения оползневых тел определяется особенностями рельефа склона и составляет от нескольких метров до первых десятков метров. На рис. 31 показан участок северного склона холма Сион, на котором весной 1995 г. произошел оползень. На фотографии

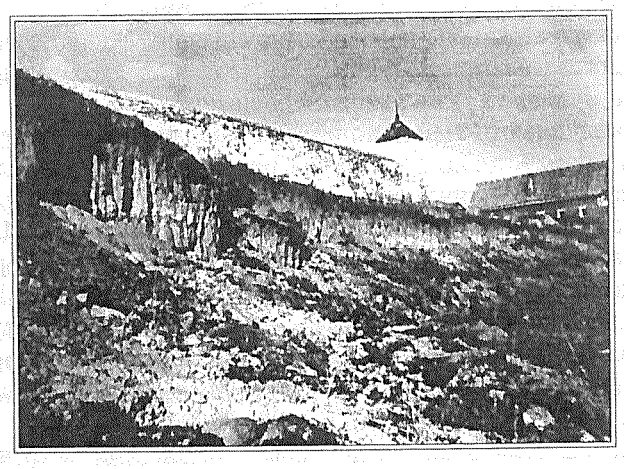


Рис. 29. Фронтальный оползень у стен Васильевского монастыря

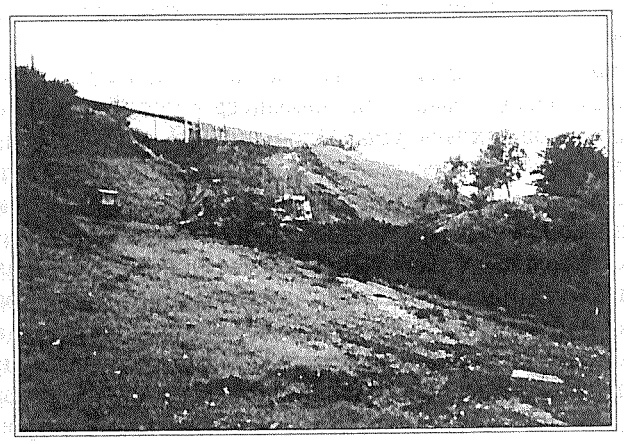


Рис. 30. Глетчерный оползень на правом берегу Волги у стен Печерского монастыря

видна беспорядочно перемятая масса грунта с несколькими сохранившими цельность блоками.

По механизму образования эти оползни приближаются к оползням скольжения и оползням-потокам. Оползни скольжения затрагивают только верхнюю, наиболее ослабленную выветрелую зону. Иногда в смещение оползней скольжения вовлекаются деловиальные и палеооползневые тела, которые выполняют роль контрфорсов. Из прошедших в последние годы оползней к этому типу относится оползень у стен Спаса-Евфимиева монастыря.



Рис. 31. Оползень на северном склоне холма Сион у стен Ново-Иерусалимского монастыря

Динамика оползней-потоков характеризуется вязкопластическим или вязким течением оползневых масс. Как для оползней скольжения, так и для оползней-потоков типично образование поверхности скольжения, однако перемещение по ней оползневых масс происходит дифференцировано в пределах поверхности оползня.

Оползни возникают на склонах, имеющих крутизну 28–30° и более. Однако, оползни-потоки в случае насыщения грунтов на склоне атмосферными осадками могут приходить в движение и при небольших уклонах (6–8°). Поверхностные оползни бывают как подмываемые, так и неподмываемые [18]. Основным природным фактором для подмываемых оползней является эрозионная деятельность водных потоков в основании склонов.

На одном из таких склонов расположен Солотчинский монастырь, основанный в 1390 г. Приуроченный к крутому берегу реки Солотчи, склон в периоды высоких половодий неоднократно подмывался. Ослабленный к тому же суффозионными выносами тонких песков, монастырский склон несколько раз подвергался оползневым смещениям. Один из таких оползней произошел весной 1768 г., когда после боковой эрозии обрушился крутой левый берег г. Солотчи,

повлекший за собой участок монастырской стены и Покровскую церковь (XV в.).

О следах этого обрушения свидетельствует изменившийся абрис стены в XVIII в. и остатки фундамента разрушенной оползнем стены XVII в., кирпичная кладка которого сохраняет направленность старой стены, не совпадающей с восстановленным после оползня новым участком. Это несовпадение показано на фотографии (рис. 32). Кстати, восстановленный в XVIII в. участок стены, судя по его сегодняшнему состоянию, неоднократно подвергался обрушению в разные годы XX в. (рис. 33).

На рис. 34 приведена схема реконструированного первоначального абриса Солотчинского монастыря, на которой показан участок монастырской территории, сохранившейся вместе с Покровской церковью до 1768 г.

Оползневые процессы создают угрозу не только памятникам, расположенным на бровке оползневых склонов, но и для памятников, построенным у их подножия на деляпсивных накоплениях. Выполняя

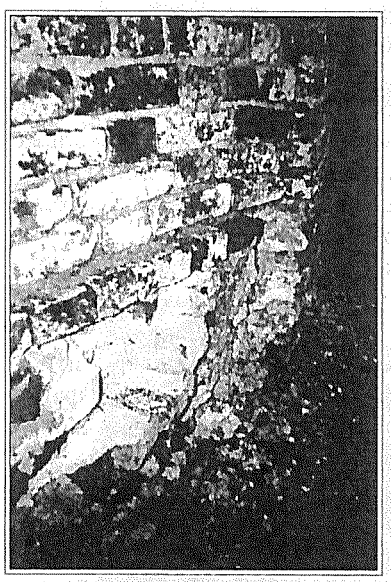


Рис. 32. Угловое несогласие между кладкой стены XVII в. и кладкой XVIII в

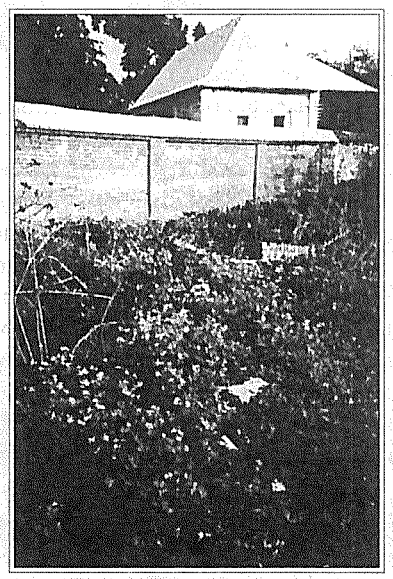


Рис. 33. Восстановленная в 90-е годы стена Солотчинского монастыря. На склоне разбросаны обрушившиеся ранее блоки XVIII–XIX в

роль контрфорсов оползневые накопления в ряде случаев служат основанием для построенных на них памятниках архитектуры. Тем самым здания памятников своей массой усиливают работу естественных контрфорсов. Однако, в момент оживления склоновых процессов, при увеличении напряжений в упорной призме, они могут оказывать силовое воздействие снизу на подошву фундамента и при выпоре грунта создавать деформирующее воздействие на здание памятника.

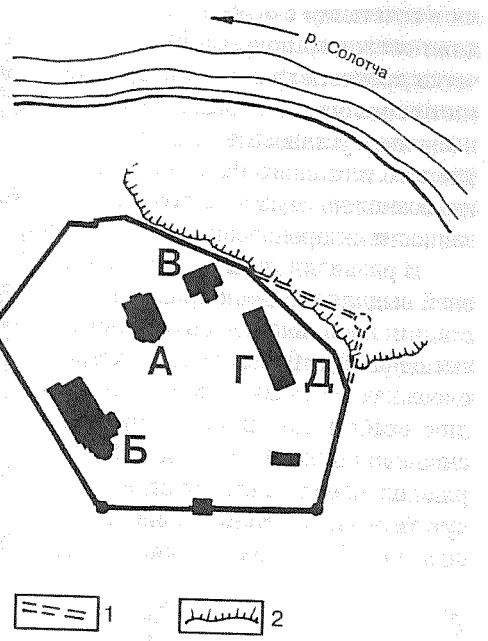


Рис. 34. Первоначальный абрис стен Солотчинского монастыря (реконструкция автора). А – Рождественский собор; Б – трапезная; В – дом настоятеля; Г – кельи; Д – восстановленная после обрушения стена. 1 – обрушенный участок стены после XVII в., где стояла шатровая Покровская ц. XVI в.; 2 – бровка оползня

Так случилось с постройками Саввинского скита Саввино-Сторожевского монастыря под Звенигородом (рис. 35).

Сохранившиеся строения Саввинского скита расположены у подножия крутого склона на левом берегу реки Сторожа, на котором периодически происходят оползни выплывания и суффозионного типа. Условием их образования является периодическое обводнение песчано-глинистых грунтов, залегающих у подножия склона. Проявление оползневых процессов на территории скита привели к серьезным деформациям церкви в Саввинском скиту, здания гостиницы для паломников, западного прясла стены и других построек.

На неподмываемых склонах причинами образования оползней служат неблагоприятные климатические условия весеннего периода года, когда наблюдается значительная инфильтрация осадков в весеннее вре-

мя в сочетании с особенностями таяния снежного покрова [15]. Хотя четко провести границу между этими типами оползней бывает трудно, поскольку установить долевое участие того или иного фактора не всегда возможно из-за достаточной внезапности их проявления.

В развитии этой группы оползней выделяется, как правило, три стадии: начальная — со скоростью смещения 0,1–0,2 м/мес, катастрофическая — до 20–60 м/сут и стадия стабилизации со скоростью смещения 0,05–0,1 см/мес [13]. В ряде случаев начальная стадия отсутствует и оползни проявляются внезапно. В других случаях вторая стадия после резкого возникновения смещения со скоростью 0,1–0,2 м/мин вскоре затухает и возобновляется лишь через несколько лет. Так произошло с развитием оползня на северном склоне холма Ново-Иерусалимского монастыря. Первый этап развития этого оползня относится к концу апреля 1984 года, свидетелем которого стал автор, когда в течение 1–2 минут образовалась трещина отрыва раскрытием 7–10 см и амплитудой смещения до 0,3 м (рис. 36). Однако дальнейшего развития процесс не имел и его продолжение последовало лишь в апреле 1995 года, т.е. через 11 лет.

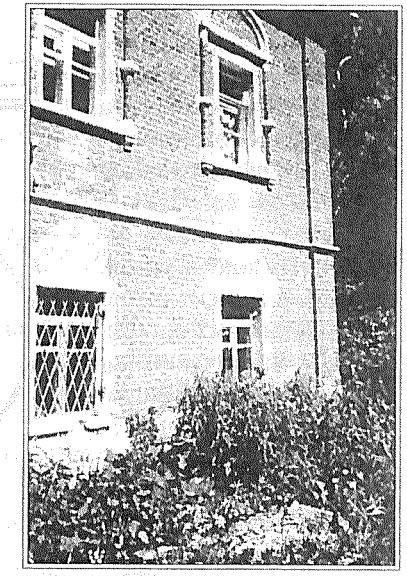


Рис. 35. Деформация здания гостиницы Саввинского скита в результате оползневого выпора



Рис. 36. Образование трещины отрыва у стен Ново-Иерусалимского монастыря в 1984 г

Известно, что в развитии оползневых процессов существует определенная периодичность их активизации, которая подразделяется на многовековую, вековую, и внутривековую [35]. Наибольший практический интерес для прогнозирования оползней вблизи памятников архитектуры представляет изучение внутривековых циклов, из которых чаще наблюдаются оползни одиннадцатилетнего цикла, связанного с изменением солнечной активности. Последний его максимум был отмечен в период 1994–1996 гг., в который и произошли рассмотренные выше оползни на монастырских территориях.

И все-таки, главное место в ряду геологических процессов занимает морозное пучение грунтов при их сезонном промерзании, затрагивающее основания фундаментов многих памятников русской архитектуры. Развитие этого неблагоприятного процесса связано с комплексом факторов, в общем характерных для территории Русского севера. К таким факторам относятся климатические, геоморфологические, гидрогеологические и литологические особенности территории. Длительный период низких температур, сменяемый достаточно теплым летом, 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.

Этот процесс затронул значительное число памятников архитектуры XVI–XVIII вв., сосредоточенных на территории Московской, Тверской, Ярославской, Костромской, Архангельской, Ленинградской областей. В пределах этих территорий преобладает весьма интенсивное проявление морозного пучения, к воздействию которого памятники архитектуры благодаря своей объемной жесткости оказались весьма чувствительными.

Впервые влияние морозного пучения на сохранность было показано на ряде памятников архитектуры Русского севера в 1984 году [28]. Начиная с 1987 г. на территории Кирилло-Белозерского, Горицкого, Ферапонтова монастырей организованы режимные наблюдения за морозным пучением грунтов основания и связанными с ним деформациями [25]. В течение 1994–1998 гг. на территории музея-усадьбы "Останкино" проводились работы по режимным наблюдениям за промораживанием и оттаиванием грунтов и фундаментов дворца и за интенсивностью сезонных деформаций

несущих конструкций [32]. В 1995–1996 гг. проводились наблюдения за проявлением деформаций Никольского собора Антониева монастыря в Красном Холме.

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. Менее изучены условия формирования температурно-влажностных полей в грунтах, находящихся под воздействием периодических изменений температуры внешней среды. Одна из немногих работ, посвященная решению подобных задач выполнена на территории музея-усадьбы "Останкино" [32].

В течение ряда лет конструкции дворца были подвержены знакопеременным деформациям сезонного морозного пучения и оттаивания грунтов. Следствием такого процесса явилось образование высокой трещиноватости в несущих конструкциях фундаментов и стен. Выявление причин потребовало проведения систематических режимных инженерно-геологических и инструментальных инженерно-геодезических наблюдений. Для этой цели на территории дворца по контуру внешних стен и в подполье была размещена сеть термометрических скважин, осадочных марок и проводились регулярные инженерно-геодезические наблюдения, измерения температуры и влажности грунтов.

Наиболее важным геокриологическим параметром, определяющим характер и интенсивность сезонных деформаций при морозном пучении, является глубина сезонного промерзания грунта — d_f. Она существенно зависит от условий промерзания. Так, с севера от дворца в суглинках d_f составила 0,6–0,8 м, при снежном покрове 0,3–0,4 м. Там же в толще флювиогляциальных песков промерзание грунтов достигло 1,2 м при толщине снежного покрова 0,4–0,8 м.

Существенно изменяют картину промерзания сами фундаменты, поскольку теплофизические характеристики кладки оказывают влияние на величину и динамику промерзания — оттаивания грунтов вблизи фундаментов, из-за более высоких значений тепло- и температуропроводности их материалов. Измерения температуры грунтов вблизи контакта с фундаментами показали увеличение глубины промерзания на 57% и формирования более низких температур по отношению к окружающим грунтам. Это в свою очередь оказало влияние на процесс миграции влаги к фундаментам и переувлажнение грун-

тов вблизи них. Часть влаги замерзает с образованием ледяных шлиров, а часть поступает в фундаменты.

Образование ледяных шлиров на контакте фундамента и грунта наряду с образованием касательных сил приводит к развитию нормальной составляющей сил морозного пучения, которые могут достигать значительной величины.

Процесс оттаивания сезонно-мерзлого слоя протекает достаточно быстро со скоростью 2,0–5,0 см/сут, причем максимальные значения скорости наблюдаются на участках южной экспозиции дворца, где процесс оттаивания фундамента завершается на месяц раньше и наоборот в подполье он существенно задерживается. Инерция полного оттаивания сезонно-мерзлой толщи в подполье составила около месяца.

Неоднородность проявления сезонных термодинамических процессов на территории Останкинского дворца и неодновременность их проявления явились основной причиной деформаций несущих конструкций памятника (рис. 37а). Опережающее оттаивание грунтов и фундаментов южной экспозиции и инерция в оттаивании сезонной мерзлоты внутри дворца вызвали первоначальные осадки несущих конструкций здания. На рис. 37б, в показана интенсивность и характер вертикальных перемещений отдельных частей дворца в зависимости от промерзания грунтов, вызывающего раз-

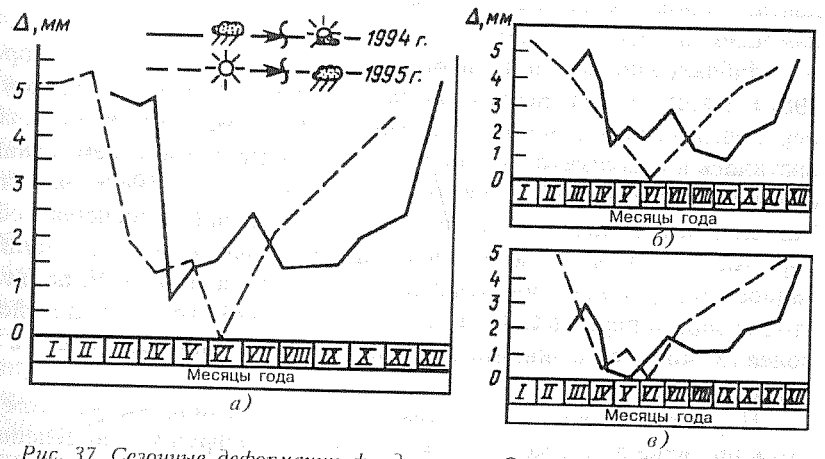


Рис. 37. Сезонные деформации фундаментов Останкинского дворца, средние значения деформации фундаментов: а — дворца; б — северной стороны дворца; в — южной стороны дворца

витие морозного пучения. На рисунках видно, что кривые изменения положения осадочных марок во времени явно отражают сезонную тенденцию знакопеременных деформаций от промерзания и оттаивания фундаментов и грунтов. Проведенные наблюдения зарегистрировали для различных частей здания амплитуды деформаций от 5 до 10 мм. Отмечено также, что вертикальные смещения при морозном пучении в северной части дворца на 1,5 мм больше, чем в южной, что связано с бóльшим промерзанием грунтов у северной стены здания.

Многолетние наблюдения за стенными марками постоянной режимной геодезической сети, созданной на территории Кирилло-Белозерского монастыря, показали сложный характер развития деформаций на памятниках архитектуры XV–XVII вв. [25]. Интенсивность процесса морозного пучения во многом зависит от местных климатических условий (формирование предзимней влажности, суровость зимы, количество осадков в зимний период года).

Наблюдения за деформациями были организованы на двух сооружениях монастыря: Успенском соборе (XV в.) и стенах Нового города (XVII в.). При визуальном осмотре этих памятников нетрудно заметить признаки морозного пучения. Деформации морозного пучения хорошо читаются на углах здания Успенского собора и в виде открытых горизонтальных трещин значительного раскрытия на контакте стена-фундамент (рис. 38), а также по искривленным валикам на стенах Нового города.

Наблюдения за стенными марками, установленными в декабре 1987 г. на апсиде Успенского собора, показали значительные (24 мм) перемещения вверх марок, которые к летнему сезону 1988 г. возвратились в исходное положение. Столь значительные перемещения обязаны малоснежной и достаточно холодной зиме 1987–1988 гг. Так же как и стены Останкинского дворца, апсида Успенского собора Кирилло-Белозерского монастыря испытывала сезонные пульсационные, знакопеременные перемещения. Максимальный подъем стен собора в период 1988–1989 гг. и 1989–1990 гг. отличавшейся более мягкими и снежными зимами, соответственно составил 12 и 14 мм [25].

Периодические изменения температуры грунта приводят к тому, что в подошве фундамента и на контакте его с грунтом постепенно происходит локальное накапливание влаги, мигрирующей затем в пустоты фундамента. Этот циклический механизм позволяет набирать в



Рис. 38. Деформация стены Кирилло-Белозерского монастыря в результате промерзания и оттаивания грунтов основания

пустотах фундамента значительные объемы воды и является одним из главных в образовании фундаментных вод.

Неоднородность материала валунных фундаментов (валуны и заполнитель) способствует перераспределению замерзающей влаги и внутри тела фундамента. Зоны образования ледяных шлиров тяготеют к пустотам, к контактам между валунами и заполнителем межвалунного пространства. Возникновение разнонаправленных сил внутри тела фундамента приводит к расшатыванию валунов, чему способствуют выщелачивание и деструкция кирпичной составляющей заполнителя межвалунного пространства. Как следствие — увеличивается пустотность и фильтрационные свойства фундамента. Таким образом, сезонные явления промораживания — оттаивания грунтов и фундаментов приводят к деформациям памятника с образованием в несущих конструкциях трещин и накапливанию воды в пустотах фундамента.

Перемещение валунов верхнего ряда фундаментов на участках стен, где образовались в результате морозного пучения крупные горизонтальные трещины, за зимний сезон 1987–1988 гг. составили от 6 до 30 мм. При этом некоторые валуны при перемещении скалывают кирпичную кладку стен. Столь значительное перемещение валунов вызвано неравномерным промерзанием грунтов основания, связан-

ным с их выхолаживанием под валунами за счет попадания и сохранения в пустотах фундамента тяжелого холодного воздуха. Наиболее распространенная в нижней части валунных фундаментов клиновидная форма приводит к развитию дополнительных сил, воздействующих на фундамент и способствует увеличению нормальной составляющей сил морозного пучения.

Внутри стен, в аркадах, из-за отсутствия снежного покрова наблюдается резкое увеличение глубины промерзания, тогда как с внешней стороны при значительном снежном покрове (до 0,8 м) промерзание крайне незначительно. Образующийся под стеной массив мерзлого пучащегося грунта не только поднимает вверх валуны фундамента, но и выпирает их в сторону [25], выключая таким образом отдельные валуны из работы. Это является достаточно опасным результатом морозного пучения для дальнейшей сохранности памятника.

Длительные процессы морозного пучения неоднократно в прошлом приводили к серьезным деформациям ряда памятников архитектуры XV–XVIII вв. Расшатывание несущих конструкций и снижение несущей способности глинистых грунтов оснований при возникновении "усталостного" эффекта в результате знакопеременных перемещений грунтов оснований и фундаментов создали в течение длительного периода условия для перерождения жесткой структуры памятника в дискретную, т.е. доводили сооружение до уровня взаимодействия отдельных функциональных блоков.

При оценке влияния морозного пучения на сохранность памятников архитектуры надо иметь в виду длительность проявления процесса. В связи с этим, временное развитие изменений в структуре памятников довольно трудно воспринимается и оценивается при кратковременном и одноразовом рассмотрении деструктирующих признаков. Ретроспективная оценка условий развития и влияния морозного пучения в увязке с рассмотрением состояния частично разрушенных и руинированных памятников архитектуры в настоящем поможет осуществить правильное диагностирование причин разрушения одних памятников и аварийность других с тем, чтобы вовремя предупредить в будущем возможность их разрушения.

В качестве иллюстрации к сказанному рассмотрим состояние памятников архитектуры Антониева монастыря в г. Красный Холм Тверской области. В настоящее время сохранились в руинированном состоянии Никольский собор и трапезная (XV в.), от которых остались только стены с крупными сквозными, вертикально ориентированными трещинами (рис. 39).

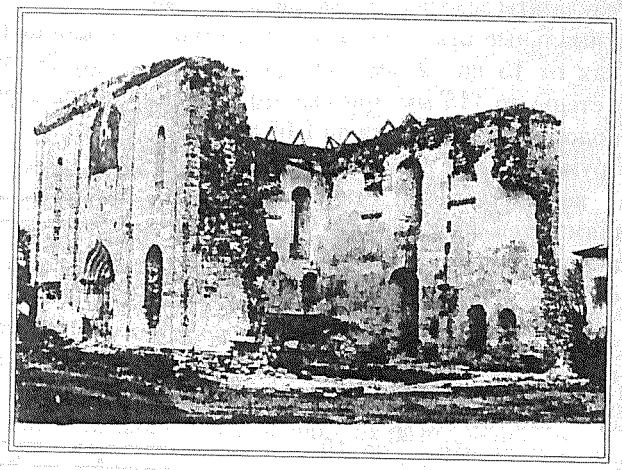


Рис. 39. Сохранившиеся стены Никольского собора Авраамиевого монастыря (Тверская область)

Здания Надвратной церкви и Братского корпуса (XVII в.) находятся в аварийном состоянии из-за сводов, полностью разорванных продольными трещинами с раскрытием до 50–60 мм и выпавшими кирпичами, с относительными перемещениями архитектурно-тектонических блоков по вертикальным осадочным трещинам. Сложившаяся обстановка привела памятники к риску с высокой вероятностью частичного обрушения сводов Братского корпуса и возникновения серьезных деформаций Надвратной церкви.

Основанием памятника архитектуры Антониева монастыря служат моренные пылеватые и влажные суглинки, склонные к морозному пучению, ослабленные полусгнившими сваями и возникшими "стаканами" от полностью сгнивших деревянных свай.

В зимний период 1995–1996 гг. за пространственными перемещениями сохранившихся трех стен Никольского собора были проведены инструментальные наблюдения. Поскольку стены собора после его обрушения имеют "развал" по сторонам света и крупные сквозные трещины, наблюдения велись не только за вертикальными перемещениями при промораживании и оттаивании грунтов основания, но и за отклонением лопаток собора от вертикали. Отклонения лопа-

ток на уровне низа карниза были зафиксированы на период между обрушением храма и проведением инструментальных наблюдений в 1995 г. Результаты замеров показаны на рис. 40.

Максимальные отклонения южной стены составили в различных точках от 15 до 22 мм, западной стены — от 20 до 80 мм, северной стены до 115 мм при высоте сохранившихся стен 9,3 м и ширине подошвы фундамента до 1,65 м.

Инструментальные наблюдения за вертикальными перемещениями стен имели следующие значения: внутренняя часть южной стены в период ноябрь 1995 — февраль 1996 гг. в результате действия сил морозного пучения поднялась на 10–15 мм, наружная — на 9 мм; внутренняя часть северной стены — на 10 мм, наружная на 4–8 мм; внешняя часть западной стены — от 2 до 9 мм. Превышение подъема внутренних частей северной и южной стен над внешними соответственно составили: 2–6 мм и 1–6 мм. Эти значения подтверждают не только пульсационные знакопеременные деформации сохранившихся стен, но и возможность продолжения "развала" стен собора.

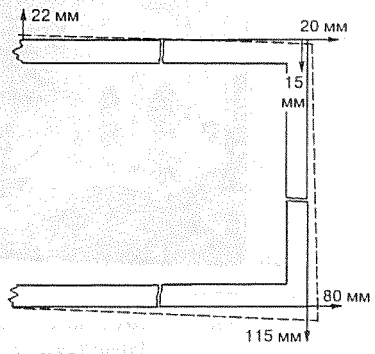


Рис. 40. Схема отклонений верха стен Никольского собора за зимний период 1995–1996 гг

Не вызывает сомнения, что в периоды формирования напряжений морозного пучения в грунтах оснований этих памятников, возникают не только пульсационные деформации несущих конструкций, но и усиливается процесс сближения (конвергенции) стенок "стаканов" от сгнивших свай, что приводит к деформациям фундаментов и дополнительным осадкам. Естественно, такие деформации конструкций и осадки максимальны после полной деструкции свай, т.е. наблюдаются у более древних памятников.

Сравнивая обе группы памятников архитектуры (XV–XVII вв.) Антониева монастыря, в целом имеющих одинаковые конструкции фундаментов, одни и те же грунты в основании и деревянные сваи для их уплотнения, можно отметить, что памятники XVII в. (Надвратная церковь и Братский корпус) имеют серьезные деформации несущих конструкций, как результат процессов морозного пучения и частичной деструкции деревянных свай (отрыв фундаментов от стен с образованием горизонтальных трещин и сводчатых трещин в стенах) и отражают пока еще незавершенную стадию их развития, тогда как для памятников XV в. (Трапезная и Никольский собор) это состояние является уже пройденным этапом. Последние до конца "пережили" стадию окончательной деструкции деревянных свай и практически полного исчезновения "стаканов". Разница в состоянии эволюционных преобразований рассматриваемых групп сооружений Антониева монастыря дорогого стоила для памятников архитектуры XV в. — исчерпав свои физические ресурсы, они в конце концов обрушились и оказались в руинированном состоянии.

Точной даты обрушения Никольского собора, так же как и Трапезной, неизвестно. Можно предположить, что в руинированном состоянии эти здания были уже в XIX веке. Известно только, что местные жители в 30-е годы разобрали алтарную часть храма на строительный материал. Никаких признаков умышленного их разрушения нет.

Многие памятники архитектуры Русского севера обнаруживают проявления морозного пучения по типичным деформациям угловых частей зданий, которые возникают в результате развития скалывающих напряжений, формирующих круто падающие вглубь стен и фундаментов трещины, раскрытием до 10–25 мм. При этом образуются отторгнутые от основного объема памятника блоки в несколько кубических метров.

В деформации угловых частей памятников можно выделить следующие этапы:

1) замачивание атмосферной влагой грунтов оснований под фундаментами угловых частей зданий с последующим их промораживанием;

2) развитие скалывающих напряжений в результате морозного пучения, отрыв блоков кладки цокольной части и фундамента здания в виде трехгранных призм;

3) разрушение оторванного блока кладки многократными процессами пучения и оттаивания грунтов, приводящее к повышению напряжений в основании под угловыми элементами здания и их дополнительной осадке и образованию трещины отрыва, отчленяющей угловую часть здания;

4) развитие опрокидывающего момента в результате сокращения площади опирания угловых частей здания, приводящего к их выпадению и разрушению.

Этапы разрушения памятников архитектуры под влиянием процесса пучения проиллюстрированы на рис. 41.

В последующие годы развитие этих деформаций приводит к серьезным нарушениям несущих конструкций и, в конечном итоге, к их окончательному разрушению. Примером серьезного разрушения памятников архитектуры проявлением сил морозного пучения может служить доведение Покровского храма (1608–1631 гг.) Авраамиева монастыря в Костромской области до аварийного состояния, при котором полностью оказался разрушенным северо-западный угол храма (рис. 42).

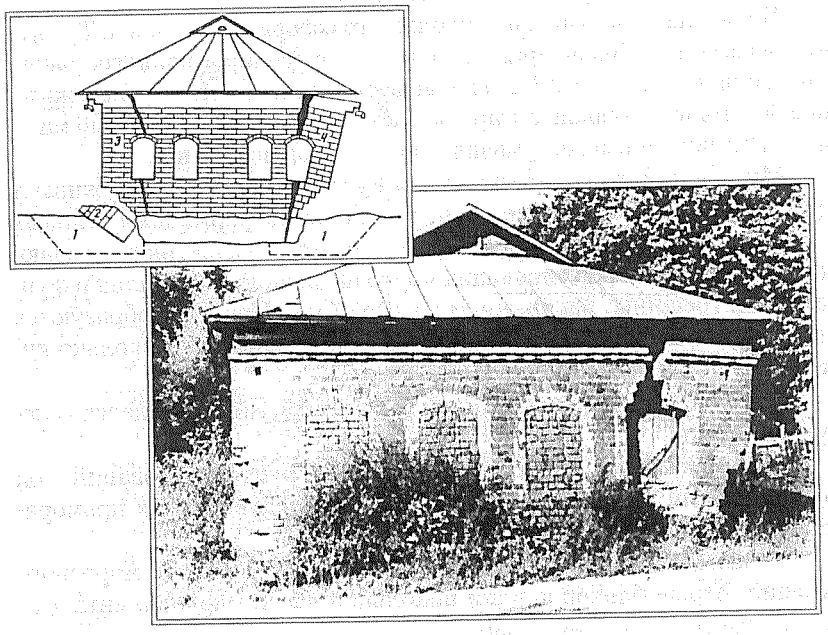


Рис. 41. Этапы разрушения памятника от пучения грунтов основания:
1 – зоны развития сил морозного пучения;
2 – отделившийся блок кладки под действием процессов пучения и оттаивания;
3, 4 – оторвавшиеся и опрокидывающиеся угловые части здания

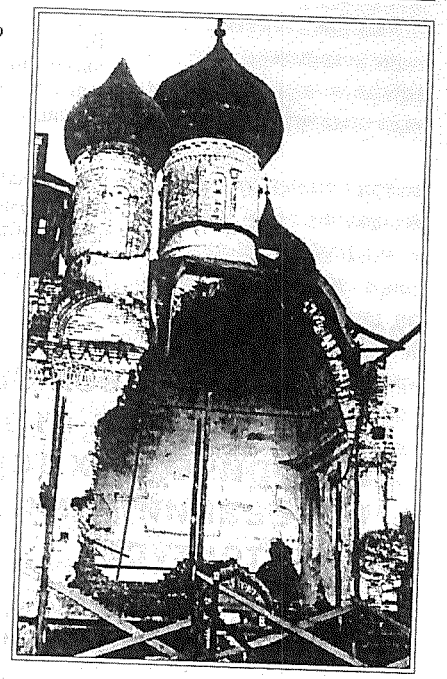


Рис. 42. Разрушение северо-западного угла Покровского храма Авраамиевого монастыря в Костромской области

Таким образом, ритмическая повторяемость протекающих в сфере взаимодействия процессов в конечном итоге приводит к прогрессирующему разрушению основных структурообразующих связей в изучаемой системе, что обусловливает развитие деформаций памятников архитектуры.

Вскрытые в этой главе аспекты, определяющие инженерно-геологическую проблематику сохранения архитектурного наследия, показывают важность поддержания стабильности памятников в сложных природно-климатических условиях России.

"Всякое рукотворное создание, нарушающее равновесие природной системы, подвергается разрушению и тем быстрее, чем оно менее рационально в данных природных условиях"

Эжен-Эммануил Виолле-ле-Дюк

" ... не было лишь продуктивного способа анализа путей развития - научного, историко-эволюционного, согласованного с объективными законами эволюции Природы и Общества"

В.С.Голубев

Глава 3

Изучение эволюционных изменений в структуре исторических территорий и оснований памятников архитектуры

3.1. Роль эволюционных преобразований в сохранении памятников архитектуры

За сотни лет существования памятников архитектуры для большинства из них рука реставратора не касалась грунтов оснований и фундаментов. Эта тема до сих пор находится за скобками традиционных подходов большинства методических руководств по реставрационным работам и монографий по истории русской архитектуры. Однако, будучи открытыми и доступными для факторов сурового русского климата эти элементы исторических природно-технических систем многократно подвергались воздействию резких колебаний температуры, влажности, химических и биологических ингредиентов, различных техногенных нагрузок, что приводило к развитию в них ряда негативных процессов.

Скрытый характер развития этих процессов естественно не позволял выявить в течение длительного периода существования памятника направленность их действий, масштаб внесенных изменений в структуру оснований и фундаментов. Результаты действия скрытых процессов могли быть отмечены лишь только после возникновения тех или иных деформаций в конструкциях памятника.

Сложные условия сохранения исторических памятников обусловлены интенсивным многовековым техногенным изменением древ-

неурбанизированных территорий. Стихийность в преобразовании состава поверхностной части литосферы осложняется развитием многочисленных техно-природных и техногенных процессов в сфере взаимодействия памятников истории и культуры, что губительно сказывается на их состоянии.

Эволюция реальных исторических природно-технических систем и особенно их структур предусматривает внутреннее и непрерывное перестроение и количественное изменение состояния их элементов, в связи с протекающими в них процессами. Неопределенность и скрытый характер их развития в природной составляющей системы не может сколько-нибудь четко определить схему эволюции и это в определенный момент приводит к заметным скачкообразным (революционным) переходам от одного качественного состояния к другому, завершающегося катастрофическими событиями для памятников.

Памятники архитектуры в процессе своего жизненного цикла испытывали прогрессирующие по своей интенсивности, разнообразию и масштабу вековые воздействия окружающей среды. Но особенно нам интересны изменения геологической среды, поскольку есть возможность наблюдения за следами ее воздействия на окружающую среду. Постепенные, происходившие в течение первых столетий, изменения рельефа, гидрографической сети, геологического строения приповерхностных отложений резко возросли в промышленную эпоху и особенно в последние два столетия, а в конце XX века приобрели угрожающие масштабы. Их следствием стало нарушение динамического равновесия в природно-технической системе "памятник — геологическая среда" и резкое ухудшение условий ее функционирования.

Наиболее существенным техногенным элементом геологической среды территорий древних городов является культурный слой — геотехногенный массив грунтов, состав и состояние которых служат своеобразным индикатором характера хозяйственной деятельности и одним из факторов, влияющих на общее изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Он же является тем элементом геологической среды, в поведении которого (идущие здесь инженерно-геологические процессы) наиболее четко отражается происходящая сегодня эволюция инженерно-геологических условий исторических территорий, приводящая к снижению дренирующей способности и делающая территорию памятника весьма чувствительной к состоянию дневной поверхности и экспансии примыкающей приповерхностной инфраструктуры.

Ретроспективный анализ динамики формирования инженерно-геологических и гидрогеологических условий исторических территорий позволяет наиболее отчетливо проследить усиливающуюся роль техногенеза в их эволюции.

Помимо изложенного, за последний, почти вековой период социально-политических преобразований в России, проблема сохранения памятников была также связана с существенными изменениями изначально созданных и поддерживаемых на протяжении многих десятилетий эксплуатационных регламентов и ограничений. Новые, не свойственные эксплуатационные функции, утрата традиционных приемов и навыков сохранения естественных условий и поддержания режимов функционирования территорий, утилитарных архитектурных построек и сооружений создали несовместимые, а порой и деструктирующие взаимодействия памятников с окружающей геологической средой.

Стихийный техногенез привел к бесконтрольному и опасному эволюционному изменению структуры и состояния исторических природно-технических систем. Это в первую очередь коснулось серьезных преобразований приповерхностной инфраструктуры (асфальтные и бетонные покрытия, прокладка подземных коммуникаций, посадка вблизи памятников деревьев и кустарников, накопление строительного мусора, разборка или засыпка старых булыжных или каменных покрытий и т.д.), приведших к кардинальному изменению баланса атмосферных осадков, химическому загрязнению грунтов и грунтовых вод, развитию опасных инженерно-геологических процессов. Особенностями этих эволюционных преобразований явились медленные изменения, которые за время существования памятников не раз сопровождались резкими скачкообразными преобразованиям.

Отсутствие слежения и правильного ухода за историческими территориями, их неконтролируемость вызвали интенсивный рост техногенных накоплений, нарушивших первоначальную вертикальную планировку и высотное соотношение с ней памятников, а также структуру поверхностного стока и инфильтрационного питания, ухудшило влажностной режим интерьеров и несущих конструкций, активизировало процессы криогенных деформаций и выветривания материалов кладки фундаментов и цоколей.

Помимо внутренних причин развития процессов, определяемых, в основном, неуправляемым режимом эксплуатации исторических территорий, важное место занимают внешние причины развития процессов, связанных с экспансией инфраструктур крупных городов и промышленных центров. Например, осложнение гидродинамической и гидрохимической обстановки исторических территорий создали условия для постепенного разрушения валунных и белокаменных фундаментов, деревянных свай, известкового раствора в кладке цоколей и стен и т.п.

Сложившаяся негативная обстановка в отношении физической сохранности памятников архитектуры во многом отражает постепенно складывающуюся внешнюю экспансию деградированных и необустроенных территорий, которая, к сожалению, не имеет тенденции к снижению и не учитывать которую при проведении охранных и реставрационных мероприятий нельзя.

3.2. Природа формирования дефицита несущей способности грунтов основания

Традиции возведения в России каменно-кирпичных зданий раннего средневековья и последующих эпох, вплоть до середины XIX века, предусматривали широкое использование в качестве уравновешивающего элемента в поле проявления действующих нагрузок, достигающих 0,4–0,6 МПа, деревянных свай и лежней.

За период длительного существования памятников архитектуры сваи подвергались гниению, в результате под фундаментами образовывались полости и разуплотненные зоны грунта, что приводит к возникновению дефицита несущей способности (ДНС) и развитию в течение длительного периода времени деформации основания, приводящей несущие конструкции здания в предельные состояния второй, а затем и первой группы. В конечном итоге действующие нагрузки после длительной и сложной эволюции структуры свайного фундамента могут восприниматься только грунтами основания и переход от уплотненного сваями грунта к уплотненному действующими нагрузками завершается либо без разрушения конструктивных элементов памятника, либо, в результате непрерывных эволюционных количественных изменений, процесс перестройки структуры основания приобретает резкие скачкообразные качественные (революционные) преобразования, что приводит к серьезным деформациям конструкций памятников архитектуры.

При изучении природы формирования дефицита несущей способности важно выяснить механизм совместной жизни конструкций памятника и основания, т.е. их коэволюционное развитие. В этом отношении очень важным становится понимание их возможности и способности развиваться по собственным направлениям развития и осмысление как выводить изучаемую систему "памятник — геологи-

ческая среда" на путь, предусматривающий частичную самоупровляемость ее последующего развития.

Оценка современного состояния оснований памятников архитектуры предусматривает тщательный анализ их эволюционного превращения. Сложная трансформация первоначального положения в сегодняшнее должна получить полную и адекватную оценку не только для объективного объяснения процессов, изменивших сложившуюся структуру и приведших памятник в то или иное состояние устойчивости, но и на основании увиденного эволюционного преобразования структуры системы " памятник — геологическая среда" предсказать дальнейший путь ее развития и необходимость внесения структурных изменений интрогенными средствами. Понимание общих принципов эволюционного развития системы имеет важное значение при выработке правильных технических решений для стабилизации грунтов основания.

Многочисленные геотехнические исследования причин деформации памятников подтверждают значительное влияние естественных факторов на поведение и устойчивость грунтового массива и необходимость учета формирования дефицита несущей способности, его оценки для обоснования требуемой надежности исторических зданий и сооружений. Так, при изучении оснований под подошвой фундаментов стен и башен Новгородского кремля на участке обрушения стены были выявлены поверхности скольжения, которые прослеживаются от контура фундаментов на глубину 0,5–0,9 м и ориентированы под углом 35–37° к горизонту. Приуроченность этих трещин к подошве фундаментов и их ориентировка свидетельствует о развитие критических напряжений в основании и о возможности выпора грунта.

При образовании пластических деформаций под фундаментами техногенной толщи, представленной тугопластичными и твердыми глинами, позволяет определить расчетные давления в пределах 2,05–2,35 кг/см^2, тогда как реальные нагрузки от сооружений составляют 2,45–2,65 кг/см^2. Следовательно, в основании новгородских оборонительных сооружений со временем сформировался дефицит несущей способности, составляющей 12–22%, который обусловил обрушение стены.

В ряде работ [28,53,54] середины 70-х начала 80-х годов отмечается, что при инженерно-геологическом изучении оснований памятников архитектуры для их консервации и реставрации наиболее важным и ответственным моментом является установление факта дефицита несущей способности, под которым подразумевается несоответствие между реальной нагрузкой и способностью измененного различными процессами грунтового массива к ее восприятию [30,32]. Это сложное многоплановое явление, отражающее различные аспекты инженерной геологии и механики грунтов, требует глубокого и многостороннего исследования. Правильная методологическая установка, основывающаяся на комплексном изучении процессов, протекающих в непосредственном основании памятника и в его конструкциях, может обеспечить успешное раскрытие картины эволюции исследуемой природно-технической системы и принятие безошибочных мер инженерной защиты. И порой незначительные, но правильно приложенные воздействия на систему оказываются весьма эффективны. Становится очевидным, что главное — не силовая функция, а верно подобранная технология, структура воздействия на геологическую среду для осуществления успешной стабилизации памятника архитектуры.

Таким образом, дефицит несущей способности грунтов отражает формирование недостатка восприятия нагрузок в период между завершающим этапом количественных изменений грунтов основания и переходом к иному качественному состоянию основания. Однако этот переход для многих исторических зданий и сооружений еще не закончен, в связи с чем представляется весьма важным оценить возможность дальнейших преобразований в структуре их оснований и до его окончания осуществлять необходимые мелиоративные мероприятия.

После забивки свай и завершения строительства сооружений уплотненные грунты в пределах свайного поля оказываются в напряженном состоянии за счет постоянно действующей нагрузки. Равновесие между памятником и основанием в разных условиях сохранялось от нескольких десятилетий до 1–1,5 столетий. Деструкция свай протекает в результате действия синтеза процессов химического разрушения (окисления), изменения гидрогеологических и гидрогеохимических условий, изменения температурно-влажностного режима древесины и вмещающих грунтов, биологического разложения. Последний во многом определяет временной фактор, являясь продуктом совокупного действия остальных процессов.

Процесс разложения древесины, вследствие влияния дереворазрушающих грибов, поражает в первую очередь оголовки окоренных свай, так как их структура способствует более легкому проникновению гифов. Активное разрушение наступает при создании благоприятных условий вмещающей среды: влажности (We) 0,35–0,60 и температуры (T) 0–45°C [33].

Неоднородность геологической среды, различные условия сосуществования в ней деревянных свай приводят к неодинаковым условиям развития процесса разложения древесины. Поэтому уплотненное сваями основание в процессе его эволюции на момент исследования может приобретать различные состояния в зависимости от времени (возраста свай, грунтовых условий, влажностного режима основания и т.д.).

Обследование деструктированных свай на участке стен и башен Ново-Иерусалимского монастыря показало, что в разрезе просматривается следующая зональность заполнения полостей грунтом (рис. 43):

- зона А — открытые полости — "стаканы" в теле фундамента, сформировавшиеся в результате деструкции оголовков свай;
- зона Б — разнозернистые пески с включениями обломков кирпича, плотностью, соответствующей плотности вмещающих пород (1,63 т/м^3) и органикой в количестве 1,5%;
- зона В — суглинок гумусированный, с включениями обломков кирпича, плотностью 1,25 т/м^3 и содержанием органики до 25%.

Зоны А и В являются зонами повышенной геологической опасности, с ними могут быть связаны деформации в основании стен и башен монастыря.

Гниение приводит к тому, что при постоянно действующей вертикальной составляющей равновесного состояния (σ_z) постепенно убывает горизонтальная часть, обеспечивающаяся за счет распора телом сваи (рис. 44).

В результате уменьшения объема свай (V) происходит нарушение созданного первоначального равновесного состояния основания за счет снижения распорного усилия при постоянно действующей вертикальной составляющей напряженного состояния грунта (σ_z). Стремление системы восстановить первоначальное положение, нарушенное деструкцией свай за счет действия радиальных сил (σ_r), способствующих перемещению частиц грунта в сторону ствола, приводит к уменьшению сечения отпечатка сваи до тех пор, пока они превышают сопротивление грунта деформации. Этот процесс одновременного разложения тела свай и перемещения под действием радиальных сил частиц грунта в направлении оси сваи продолжается до установления устойчивого состояния профиля полости, формирование которого во многом будет определяться типом грунта, его физико-механическими свойствами, и, прежде всего, пределом упругости.

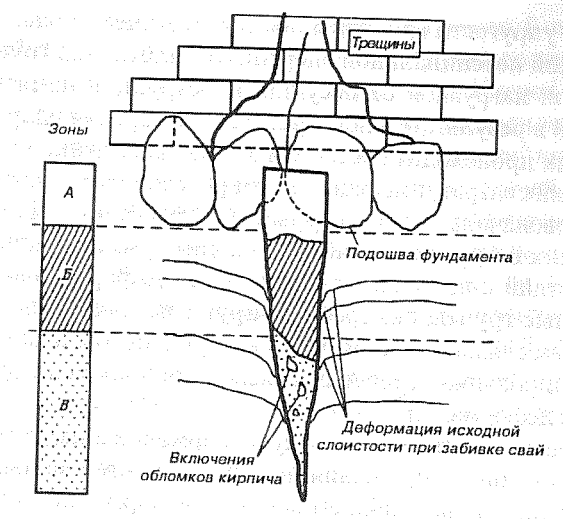


Рис. 43. Зона заполнения "стаканов" от деструктированных свай

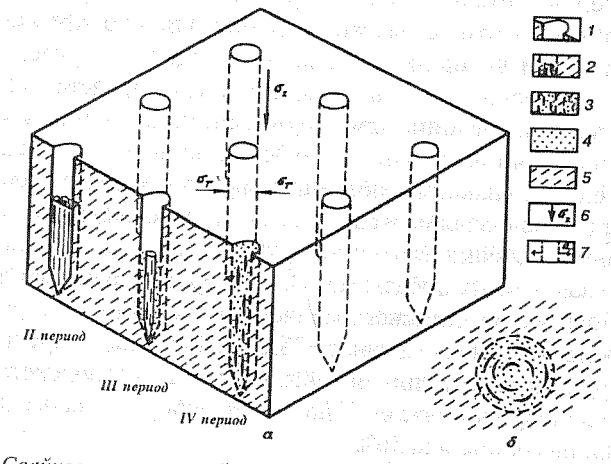


Рис. 44. Свайное поле из свай-коротышей для уплотнения грунтов основания: а – эволюция деревянных свай; б – поперечное сечение отпечатка свай; в – "стаканы" от сгнившего свайного поля; 1 – "стакан" от сгнившего оголовка сваи; 2 – разложение на остаточной длине; 3 – полное разложение сваи с заполнителем из ингфлювия и остатков тлена; 4 – ингфлювий; 5 – грунты основания; 6 – вертикальная составляющая напряженного состояния грунта; 7 – радиальные силы

Предел упругости грунтов является границей проявления аккумулированной потенциальной энергии от уплотнения грунта сваями и постоянной нагрузкой от несущих конструкций памятника. При забивке свай в результате многократного повторения ударных нагрузок в грунтах происходит систематическое накопление необратимых энергетических затрат, имеющих своим результатом существенное изменение первоначальной структуры и свойств грунта. Под действием динамических нагрузок от свай происходит суммирование результатов воздействий с постепенно затухающим деформированием. При этом песчаные грунты быстрее реагируют на изменение повторных нагрузок, чем связные глинистые, в которых преобладает пластическое деформирование, требующее известного времени для полного завершения деформаций.

При переходе к пластическому деформированию, происходящему без приращения напряжения, накопление потенциальной энергии прекращается, и в дальнейшем энергия деформации проявляется в форме кинетической энергии пластического деформирования.

При снятии части напряжений в грунтах (в пределах упругости) накопленная потенциальная энергия переходит в работу, стремящуюся вернуть грунтовый массив априори. Однако этого можно добиться лишь при условии превышения предела упругости грунта. Специфика оснований памятников архитектуры, представленных песчаными и пылевато-глинистыми грунтами, уплотненными сваями и воспринимающими нагрузки до 0,6 МПа, не позволяет создать всестороннее сжатие (накопить потенциальную энергию, способную вернуть грунт в первоначальное состояние). Подтверждением этому служат результаты оценки плотности грунтов, заполнивших полости от сгнивших свай, и за их пределами. Например, под фундаментами стен и башен Ново-Иерусалимского монастыря (XVII в.), эти различия в величинах плотности составляют ~25%. Аналогичная картина наблюдается в грунтах основания крепостных стен Новгородского детинца (XV в.), а под фундаментами Успенского собора Московского кремля эта разница составляла 50%.

Радиальные смещения грунта в сторону полостей приводят к частичному или полному разуплотнению грунта в целиках между полостями в зависимости от напряженного состояния и механических свойств грунтов и, в первую очередь, модуля деформации. Под влиянием постоянно действующих сил от веса здания разуплотненный грунт начинает снова уплотняться и давать неравномерную осадку, что приводит к необратимым изменениям жесткой структуры памятника. Интересно, что при отсутствии нагрузки на основание как, например, произошло с Десятинной церковью в Киеве (X в.), разрушенной в XIII в., деформации полостей не происходило [40].

Таким образом, основным источником "возмущения" при эволюционном изменении структуры основания и создании условий развития деформации памятников архитектуры является разуплотненность грунтов основания от гниения деревянных свай. Это приводит к развитию следующих, парагенетически связанных между собой процессов: 1) разуплотнению грунта за счет увеличения пористости ранее уплотненного грунта после возникновения полостей от сгнивших деревянных свай; 2) уплотнение и осадка грунтов основания под действием постоянной нагрузки от несущих конструкций памятников архитектуры. Причем во времени эти процессы протекают неодновременно с интервалом в несколько десятилетий и состояние основания во многом зависит от степени сохранности свайных субструкций.

Поэтому при оценке структуры оснований важно регламентировать сохранность (целостность) деревянных субструкций следующими временными периодами:

1. Период полной сохранности свай — около 100 лет
2. Период разложения оголовков свай на величину l_c — 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 (по Лунгерсхаузену) — более 100 лет после разложения сваи.

При деструкции древесины происходит снижение несущей способности свай, приводящее к перераспределению напряжений как в сваях, так и в грунтах основания и сопровождающееся постоянной трансформацией структуры свайного основания, что проявляется в изменении ДНС.

При полной сохранности свай ДНС отсутствует (этап 1), но при развитии процесса деструкции происходит перманентное возрастание ДНС, максимальные величины которого формируются на 4 этапе при полном разложении свай и образовании открытых полостей. Этапы с 1 по 4 соответствуют регрессивной фазе адаптации основания к изменяющимся условиям. В течение 5-го этапа в резуль-

тате развития парагенеза процессов (суффозия, уплотнение, ползучесть и т.д.) происходит заполнение полостей грунтом и инфлювием, сопровождающееся снижением ДНС, вплоть до полного его ликвидирования.

Разберем механизмы 2–4-го этапов, как наиболее ответственных для устойчивости памятников, и определим для каждого из них возможные осадки.

При рассмотрении механизма этих процессов примем следующие обозначения: $l_{св}$ — длина сваи; N — количество свай на единицу площади основания; l_c — длина сгнившей части сваи; r — радиус сваи; Dr — толщина сгнившей части сваи; B — ширина подошвы фундамента; n — первоначальная пористость грунта; n_1 — пористость грунта после забивки свай; n_2 — пористость грунта после деструкции свай; V — первоначальный объем сваи; $V_{1,2}$ — сохранившийся объем свай; W_r — объем грунта основания в сфере взаимодействия свай.

Первоначальный объем свай (V) на единицу площади основания в пределах 1 м длины ленточного фундамента определяется по формуле:

$$V = \pi r^2 l_{св} N$$

где N = 20; $l_{св}$ = 1,0 м; r = 0,1 м; объем сохранившихся свай для 2 периода:

$$V_1 = \pi r^2 (l_{св} - l_c) N$$

где l_c = 0,5 м; объем сохранившихся свай для 3 периода:

$$V_2 = \pi (r - D_r)^2 (l_{св} - l_c) N$$

где D_r = 0,05 м.

Рабочий объем грунта после забивки свай для 1 периода:

$$W_p = W_r - V = l_{св} (B - \pi r^2 N)$$

Разница между первоначальным объемом свай (V) и объемом в конце 2 периода (V_1):

$$\Delta V' = V - V_1 = \pi r^2 l_c N$$

и осадка грунта за этот период составит:

$$S = \frac{V}{B} = \pi r^2 l_c N / B = 20 \text{ см}.$$

Разница между первоначальным объемом свай (V) и объемом свай в конце 3 периода (V_2):

$$\Delta V'' = V - V_2$$

и осадка грунта (S) за этот период составит 37,2 см. Окончательная осадка грунта при полной деструкции свай S составит:

$$S = \pi r^2 l_{св} N / B = 40 \text{ см}$$

Если допустить полное заполнение полостей грунтом, то полученные значения осадок несущие конструкции многих памятников не выдержат, что приведет к разрушению системообразующих связей и повлечет гибель памятника архитектуры, как это случилось, например, с Никольским собором Антониева монастыря в Красном Холме к периоду полного разложения деревянных свай. Значительность и неравномерность осадок собора в окончательной стадии деструкции свай и полного заполнения полостей грунтом привели к потере первоначальной жесткой структуры, образованию дискретных архитектурно-тектонических блоков, возникновению и развитию крупных трещин, обрушению сводов.

Приведенные ранее значения осадок соответствуют осадкам, образующимся только при изменении структуры порового пространства грунта от заполнения полостей от сгнивших свай. После этого возможен следующий этап уплотнения грунтов, связанный с адаптацией возникшего состояния грунтов к действующим нагрузкам от несущих конструкций памятников архитектуры, и от реактивных сил морозного пучения. Так, потерявшие объемную жесткость конструкции Никольского собора в течение каждого года испытывают знакопеременные деформации от действия сил морозного пучения, которые помимо формирования усталостного эффекта в глинистых грунтах основания приводят к созданию кренов сохранившихся стен. По результатам наблюдений в зимний сезон 1995–96 гг. подъем стен составил до 15 мм, а крен достиг 20–115 мм. Подобные перемещения в пространстве несущих конструкций приводят к увеличению напряжений под подошвой фундаментов при создании эксцентриситета нагрузки и уплотнению грунтов в части основания, самопроизвольно погашают дефицит их несущей способности за счет проявления дополнительных деформаций в основании несущих конструкций.

Поскольку оценка напряженно-деформированного состояния грунтов основания с деструктированными деревянными субструкциями

практически нереальна натурными измерениями или методами моделирования, то потребность в такой оценке может быть восполнена аналитическими методами, но без чрезмерной схематизации и введения упрощений, искажающих сущность изучаемых процессов. Важнейшей особенностью взаимодействия памятника и массива в этом случае является сложное строение полей напряжений грунтов основания, вызванное их анизотропией, неоднородностью и временной изменчивостью в результате деструкции древесины. Как показывает опыт проведения геотехнических расчетов [52], это достаточно известное положение на практике серьезно упрощается, снижая надежность прогноза эволюции несущей способности, что приводит в конечном итоге либо к принятию дорогостоящих защитных мер, либо к игнорированию опасной ситуации. В частности, французские исследователи утверждают, что учет масштабного фактора, принимаемый по схеме предполагаемых расчетов, не совсем корректен из-за ввода переходных коэффициентов, и уж тем более неправилен способ усреднения используемых данных [50].

Алгоритм аналитического решения может быть представлен в следующем виде.

Грунты, слагающие основания многих памятников архитектуры находятся в интервале состояний, имеющих два предельных значения вязкости: наибольшую η_0, соответствующую первоначальной структуре грунта после забивки свай (1-й период), и наименьшую η_m, близкую к деформированному состоянию грунта после их гниения (4-й и 5-й периоды). Для грунтов, находящихся в этом интервале состояний, характерно наличие предельного напряжения сдвига $\tau_к$ или предела текучести, совпадающего с пределом упругости. При первоначальном состоянии, когда $\tau < \tau_к$ основание упругое, при $\tau > \tau_к$ в грунте происходят деформации ползучести без разрыва структуры грунта, но вбирающие в себя органический тлен в виде отдельных волокон сгнившей древесины. Подобная картина зафиксирована в пластичных моренных суглинках основания Никольского собора (XV в.) в Красном Холме, или в виде инфловия, включающего разнозернистую рыхлую массу частиц грунта с включением мелких обломков древесины и тлена, как это было зафиксировано в шурфах под фундаментами Успенского собора Московского кремля.

В процессе гниения свай и, прежде всего, оголовков, уменьшается площадь опирания подошвы фундамента на основание, и, следовательно, при постоянно действующей силе от веса сооружения будет медленно возрастать напряжение на грунт и в нем проявят-

ся необратимые деформации ползучести. Этому, в первую очередь, способствуют возникшие в грунтах полости (стаканы) и превышение времени действия сил на грунт (сотни лет) над временем релаксации.

Величина времени релаксации ($T_{рел}$) может быть вычислена из отношения вязкости в зоне гниющих свай с неустановившейся ползучестью (η) к модулю запаздывающей упругости (сдвига) $E(G)$:

$$T_{рел} = \frac{\eta}{G}, \text{ где } G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Тогда

$$T_{рел} = \frac{2\eta(1+\nu)}{E}$$

где: E — модуль запаздывающей упругости; η — коэффициент вязкости на участке неустановившейся ползучести; ν — коэффициент Пуассона.

Используя реологическую модель Бюргенса [3], можно рассчитать радиальные смещения стенок стакана (U_r) от бокового распора $\lambda(\gamma H + \sigma_z)$ по формуле:

$$U_r = \frac{\lambda(\gamma H + \sigma_z)}{2G}\left[1 + \frac{G}{G_1}\left(1 - e^{-\frac{t}{T_{рел}}}\right) + \frac{G}{\eta_1}t\right]$$

где: H — глубина от подошвы фундамента до сечения сваи; γ — объемный вес грунта; σ_z — напряжение в грунте под подошвой фундамента; t — время существования "стакана"; G — модуль сдвига; G_1 — модуль запаздывающего сдвига; η_1 — коэффициент вязкости на участке установившейся ползучести; r — радиус "стакана" от сгнившей сваи.

Возникает вопрос, за счет чего при деформации ползучести полости от сгнивших свай заполняются грунтом без разрыва сплошности грунтового массива.

Известно, что вокруг полостей круглого сечения формируется кольцеобразная зона, в которой аккумулируется потенциальная энергия, уравновешивающая радиальные напряжения, направленные к центру полости и обеспечивающая состояние равновесия. В естественных условиях, однако, формирование устойчивого профиля полости происходит значительно сложнее, поскольку при этом проявляют влияние некоторые факторы, изменяющие состояние и свойства грунтов основания. Это, прежде всего, изменение влажности и температуры на разделе двух разных по своим теплофизическим свойствам сред: грунтов основания

и материалов фундаментов или воздуха "стаканов" и окружающих пылевато-глинистых частиц, что приводит к образованию конденсата и смачиванию грунтов на внутренней поверхности полостей, их промораживанию, термодеформации, набуханию и усадке, снижению их морозостойкости. В период сохранения напряжений в глинистых грунтах основания (при наличии свай), набухание еще сохраняет природную структуру грунта, сохраняет его твердое состояние из-за отсутствия доступа влаги к глинистым частицам (естественная влажность их обычно составляет 14–16%). Однако, после деструкции свай и образования полостей, снижается напряженное состояние грунта и улетучивается защемленный газ, возникает доступ влаги к глинистым частицам. Затем пылевато-глинистый моренный грунт в присутствии свободной воды, например, конденсата, начинает увлажняться и терять природную структуру, превращаясь в текучепластичную массу, заполняющую полость "стакана". Заполнение полостей может также зависеть от склонности грунтов к морозному пучению. В этом случае снижение вязкости глинистых грунтов происходит от проявления в их структуре "усталостного" эффекта от знакопеременных состояний, как это произошло в основании Никольского собора в Красном Холме.

Для сыпучих грунтов (песчаных, гравелистых, крупнообломочных и т.п.) ползучесть сказывается лишь при значительных давлениях и для сухого их состояния вызывается процессом текучести в точках контакта и развитием микротрещин частиц, где возникают значительные местные напряжения. В силу этого в песчаных грунтах заполнение сформировавшихся полостей при деструкции свай происходит преимущественно за счет суффозионного механизма, на что указывает незначительное схождение вертикальных стенок полостей и их песчаный заполнитель. Кроме того, в песчаных грунтах под нагрузкой за длительный период эксплуатации сооружения формируется первичное сцепление, обусловленное цементацией в точках контакта зерен. При деструкции свай в точках соприкосновения песчаных зерен происходит развитие высоких контактных напряжений, приводящих к отжиму связанной воды из глинистых пленок, которая вызывает растворение кремнезема с последующей цементацией частиц песка [6, 7]. Подобное цементирование песка наблюдалось в основании Софийского собора (Новгород), прясел стен Новгородского детинца и Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря.

Для связных грунтов ползучесть скелета сказывается при любой нагрузке, но при значительных давлениях определяющим является процесс протекания деформаций во времени. Для тугопластичных, полутвердых и твердых глин ползучесть скелета может обусловливать весьма большую часть их, а иногда почти всю деформацию.

Одновременно с этим происходит развитие суффозионного процесса, связанного с механическим выносом частиц грунта в полости от сгнивших свай. Исследования показали, что в теле фундаментов и под его подошвой формируются полости размером 50x20x10 см, оставшиеся после деструкции древесины (рис. 45). В нижней части они заполняются вторичным заполнителем, обычно песком или суглинком (инфлювий).



Рис. 45. Полости, оставшиеся от сгнивших свай под фундаментами Теремного дворца Московского кремля

Механизм процесса включает в себя: 1) заполнение пустот путем механического выноса частиц грунта под действием движения инфильтрующихся атмосферных осадков при градиентах, превышающих критический градиент возникновения суффозии (о наличии такого механизма свидетельствуют песчаные, хорошо отсортированные, горизонтальные прослои в разрезе заполнителя свай; 2) обрушение деструктированного материала фундамента (обломки кирпича, известняка и т.д.) в нижней части пустот от сгнивших свай; оно подготавливается процессами пучения, выветривания, растворения кладки фундаментов; 3) конденсацию влаги внутри открытых полостей при изменении температурно-влажностного режима при переходе через "точку росы", под действием силы гравитации при критическом весе происходит отрыв капли, которая во время движения совершает работу по перемещению частиц грунта.

3.3. Разрушение структуры поверхности исторических территорий

Эволюционные преобразования рельефа вокруг памятников архитектуры проявляются наиболее ярко. Начиная с условно первона-

чальной формы, очертания рельефа развиваются под влиянием "организации" территории человеком при реализации различных утилитарных целей. Из эрозионного рельеф становится выровненным, снижается энергия протекающих процессов, изменяется его внешний облик. Цикл развития рельефа на исторических территориях к сожалению часто заканчивается стадией "вишневого сада" — полным запустением и захламлением территории.

Таким образом, одновременно с этапами создания памятника архитектуры происходит своеобразное "старение" естественного рельефа и превращение его, по выражению Н.А. Флоренсова, в "стадию дряхлости" [47].

Один из значительных этапов преобразования поверхностной части геологический среды на исторических территориях России начался в средневековье и был связан со строительством деревянных, земляных и каменных сооружений. Однако, наиболее интенсивно это стало проявляться только в последние 200–300 лет и было связано прежде всего с урбанизацией исторических территорий, быстрым ростом и концентрацией населения и его потребностей.

В начальный период техногенное воздействие на геологическую среду проявлялось незначительно, однако, оно компенсировалось многовековой продолжительностью своего влияния, которое со временем становилось более ощутимым. С годами эти воздействия изменили сложившуюся к определенному этапу развития приповерхностную инфраструктуру, которая, как связь естественно-природных и строительных элементов, обеспечила оптимальный режим эксплуатации естественной или обустроенной поверхности по эвакуации поверхностного стока, созданию и поддержанию баланса водо-влагообмена и благоприятных условий в межсезонье, а также сохраняла равновесность условий при сдерживании нежелательных процессов. Результатом подобного воздействия стало формирование в исторических центрах многих русских городов многометровой толщи техногенных накоплений, сложенных грунтами со значительным содержанием органических остатков различной сохранности.

Стихийность в преобразовании состава поверхностной части литосферы осложнялась развитием многочисленных техноприродных и техногенных процессов в сфере взаимодействия памятников архитектуры, что губительно сказывалось на их состоянии.

Происшедшие в течение времени существования памятников архитектуры изменения, происходившие уже в течение первых столетий: изменения рельефа, гидрографической сети, геологического строения и состояния приповерхностных накоплений, резко возросли в промышленную эпоху, особенно в последние столетия.

Инженерно-геологическая оценка исторических территорий в последние годы начала формироваться в специфическое направление инженерной геологии, изучающее природную среду многочисленных монастырских, крепостных и садово-парковых комплексов, старинных усадеб, архитектурных ансамблей и исторических центров больших и малых русских городов.

Наступившая во второй половине XX века технократическая эпоха, поставила целый ряд проблем для исторических территорий в связи: с масштабным использованием подземного пространства (от подземных коммуникаций до метрополитенов и торгово-рекреационных комплексов), повсеместным применением асфальтовых покрытий, бульдозерной планировкой, захламленностью и т.п., и предопределила серьезную опасность для их сохранности.

В сложившихся условиях сызнова требуется организация рельефа, которая должна коснуться всей площади исторических территорий памятников, для придания им необходимой эдификаторной роли. При этом следует обратить внимание на необходимость придания территории нужной "энергии рельефа", путем создания новых или повторения старых элементов с их шириной, длиной, крутизной, взаимным сочетанием, создающим ту форму склонов, которая для каждого конкретного случая должна стать активным регулятором поверхностного стока и инфильтрационного питания. Это, в первую очередь, должно затронуть наиболее существенный элемент геологической среды — геотехногенный массив грунтов, состав и состояние которого служит своеобразным индикатором, определяющим общее изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Он же является элементом, в поведении которого четко отражается эволюция инженерно-геологических условий, приводящая к общему снижению дренирующей способности и делающая территорию памятника весьма чувствительной к состоянию дневной поверхности.

Сохранение недвижимого культурного наследия зависит от соблюдения экологического равновесия в верхних слоях литосферы. В связи с этим представляется необходимым введение понятия, более

точно отражающего инженерно-геологические проблемы сохранения памятников архитектуры — понятие геологического историко-культурного пространства. Оно должно вбирать в себя исторические, археологические, градостроительные ценности, расширяя границы взаимодействия окружающей памятники среды вглубь литосферы, и физически объединяя их.

Таким образом, это понятие подразумевает фиксацию реального пространства, вбирающего три составные компоненты: историко-культурную, утилитарно-функциональную и инженерно-техническую, объединенных воедино геологической средой.

Безусловно, главное место в этой триаде занимает историко-культурное наследие, определяющее своей предназначенностью подчиненную роль других компонентов. Однако следует помнить, что организация геологического историко-культурного пространства возможна лишь при привлечении технических средств и функций в условиях стабильности геологической среды.

И все-таки частые нарушения эксплуатационных регламентов и ограничений в режимах сохранения исторических территорий привели к постепенной их деструкции и деградации. Примером могут служить территории таких крупных садово-парковых ансамблей как Архангельское, Кусково, Останкино, в которых долгое время сохранялась эстетическая и инженерно-техническая культура XVIII–XIX вв. Изменения рельефа этих территорий не могло не повлиять на изменение их структуры и на начало развития экзогенных геологических процессов. Поэтому длительное неуправляемое существование территорий садово-парковых ансамблей привело к развитию процессов, отрицательно сказывающихся на сохранность памятников и состоянии исторических территорий в целом. В связи с этим, для дальнейшего сохранения функциональной пригодности приповерхностной инфраструктуры исторических территорий необходимо учитывать ее состояние, поскольку памятники архитектуры продолжают пребывать с ней в тесной "интимной" взаимосвязи и их сохранность во многом предопределяется этим.

Возникшая проблема до настоящего времени неполностью и вскользь решалась в рамках проводимых работ по благоустройству территорий памятников архитектуры в пределах , как правило, необоснованных границ. В связи с подобной неполнотой и произвольностью проводимых работ по благоустройству, ряд памятников оказался значительно ниже примыкающей дневной поверхности, с большими уклонами в сторону памятника и со всеми вытекающими негативными последствиями подобных действий. К числу таких решений по благоустройству памятников можно отнести понижения вблизи здания (XVIII в.) в Черниговском переулке г. Москвы (рис. 46), ц. Николы за Берсеньевой решеткой (XVII в.), палаты Троекурова (XVIII в.) в Георгиевском переулке в Москве, собора Мирожского монастыря (XII в.) в Пскове, трапезной и Спасо-Преображенского собора в Спаском монастыре г. Ярославля (рис. 47) и многие другие. Сам термин "благоустройство" является термином свободного пользования и, очевидно, в кругу реставраторов приобрел вполне определенное толкование, как преодоление запущенности, захламленности территорий вокруг памятников архитектуры, лишающей их необходимой внешней выразительности. Подобные предназначения благоустройства территорий вблизи памятников к сожалению нашло отражение в ряде методических работ по реставрации памятников [20, 21]. Однако, в отношении функциональной составляющей, этот термин не несет никакой смысловой нагрузки.

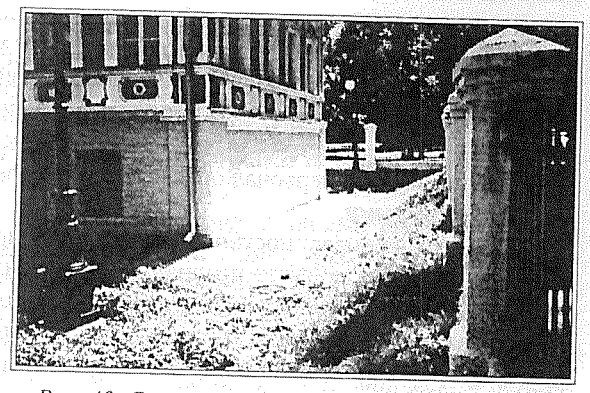


Рис. 46. Соотношение существующей дневной поверхности с положением здания XVIII в. в Черниговском переулке г. Москвы

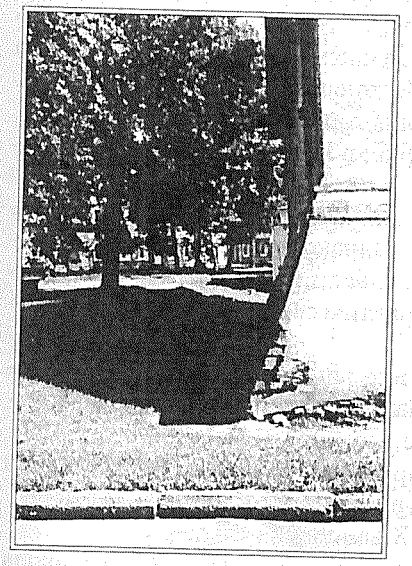


Рис. 47. Пониженный уровень Спасо-Преображенского собора по отношению к современной дневной поверхности.

В связи с этим возникает необходимость в уточнении термина. Вероятно, наиболее точно эту область деятельности можно отразить понятием регенерация, поскольку в отношении дневной поверхности направленность действия должна носить прежде всего восстановительный характер. К тому же пространственные координаты памятников архитектуры, привязанные к первоначальной дневной поверхности, были наиболее благоприятными.

Регенерация поверхностной инфраструктуры должна заключаться в первую очередь в попытке возвращения поверхности эдификаторной роли с целью придания ей необходимой пригодности для оптимального использования и эксплуатации исторической территории. Речь может идти о целевой вертикальной планировке, снятии грунта для восстановления прежних пропорций памятникам и создании условий для максимальной эвакуации атмосферных осадков.

Историко-культурный фонд, в котором значительное место занимает ландшафт с памятниками истории и культуры, относится к природно-историческим памятникам. К таким памятникам относятся территории исторически ценных местностей (Куликовское и Бородинское поле), территории с преобладанием культурного ландшафта (старинные усадьбы: Ясная поляна, Полотняный завод, Тарханы, усадьба А.Болотова в Богородицке; дворцы городского типа: Останкино, Кусково, Лефортово; старинные парки: в Павловске, Царицыно, Нескучный сад, Архангельское).

В целом, исследование таких сложных объектов должно носить комплексный и целостный характер. Однако такой важный для понимания историков русской культуры пласт древностей, как историко-культурный ландшафт, остается практически неизученным в инженерно-геологическом отношении.

Оценку состояния памятников истории и культуры, прогнозирование их функционирования связывают с процессами, развивающимися в окружающей среде, и прежде всего геологической среде [29]. Среди них выделяются садово-парковые ансамбли, при создании которых нашло наиболее полное отражение эстетическая и инженерно-техническая культура XVIII–XIX вв.

Синтетическое садово-парковое искусство России этого периода одно из самых сложных. Для него характерно органическое слияние архитектуры, скульптуры и декоративного искусства с окружающим природным и рукотворным ландшафтом, в результате чего усиливается зависимость памятников от окружающей среды. Поэтому при

исследовании садово-парковых ансамблей необходим комплексный подход. В соответствие с ним должны не только составляться историко-опорные планы охранных зон, проекты реставрации памятников архитектуры, но и проводиться специальное изучение инженерно-геологического и гидрогеологического режима исторических территорий, допускаемых на них нагрузок и т.д.

Эксплуатация и содержание садово-парковых ансамблей почти повсеместно осуществляются без учета возможных нарушений режима функционирования исторических территорий, на которых они расположены. Это приводит к их постепенному запустению и уничтожению. Подобная участь коснулась многих садово-парковых ансамблей, в том числе одних из лучших в Московском историко-географическом регионе — Кусково, Останкино, Архангельское, Остафьево, Мцыри и др.

Основная часть ансамбля Кусково находится в пределах флювиогляциальной террасы. Здесь на песках флювиогляциальных окско-днепровских отложений залегает суглинистая толща днепровской морены. На сложно эродированной поверхности кровли днепровской морены лежат песчано-глинистые грунты флювиогляциальных отложений мос-

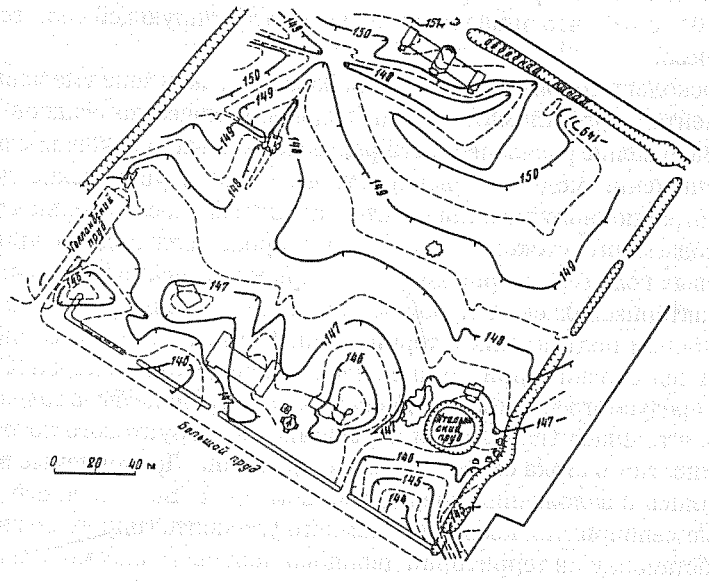


Рис. 48. Схематическая карта подошвы техногенных грунтов садово-паркового ансамбля "Кусково"

ковского оледенения. Составленная схематическое карта подошвы техногенных накоплений (рис. 48) позволила определить характер рельефа, существовавшего до строительства садово-паркового ансамбля. Первоначальный рельеф имел общий уклон на юго-юго-запад, поверхность земли была достаточно сложно эродирована, особенно в северной и южной частях регулярного парка. Уклоны дневной поверхности изменялись от 0,015 до 0,07 и хорошо были выражены ложбины стока, направленные в сторону Большого пруда, что определяло хороший поверхностный сток.

Для устройства регулярной части садово-паркового ансамбля в середине XVIII в. на флювиогляциальной террасе была отсыпана подушка насыпных грунтов. Это один из первых примеров крупномасштабной инженерной подготовки территории в прошлом. В настоящее время техногенные отложения имеют мощность от 0,1 до 3,6 м и представлены разновозрастными (с середины XVIII в. до нашего времени) песчано-глинистыми грунтами, содержащими щебень кирпича, известняка, гравий, дресву, щепу древесины, металлолом, обломки керамических изделий.

Расчлененность рельефа значительно снизилась, а уклоны составили 0,01–0,017, что привело к увеличению дренирующей способности разреза.

Поскольку территория ансамбля расположена в зоне умеренного континентального климата (среднегодовое количество осадков 650 мм), уменьшение расчлененности рельефа и его выполаживание вызвали снижение модуля поверхностного стока и увеличение доли инфильтрационного питания грунтовых вод в балансе поверхностного и подземного стоков. В результате произошел подъем уровня грунтовых вод. Территория дворцово-паркового ансамбля исторически характеризовалась неглубоким залеганием уровня грунтовых вод и частичным подтоплением территории. Поэтому в процессе инженерной подготовки территории на площади регулярного парка XVIII в. был предусмотрен закрытый дренаж, а по ее границе была заложена отсечная траншея (канал) для перехватывания грунтового потока и поверхностного стока сопредельных территорий. Дренируемые воды отводились в заложенный перед дворцом пруд. Выполненные дренажные мероприятия позволили намного улучшить гидрогеологическую обстановку на территории дворцово-паркового ансамбля и придать устойчивое положение уровню грунтовых вод. Однако в последнее столетие вследствие зарастания, накопления илов и сапропеля,

пруд подвергся кольматированию, что резко снизило его дренажные функции. Нарушилось сложившееся гидрогеологическое равновесие, начался подъем уровня грунтовых вод.

Ныне дренажная система полностью выведена из рабочего состояния. Укрепление бетонными плитами бортов значительно ухудшило гидравлическую связь грунтовых вод с прудом. Нарушение первоначального режима грунтовых вод вызвало подтопление цокольных помещений дворца и других зданий.

Садовые аллеи в парковом ансамбле "Кусково" находились ниже уровня газонов и помимо архитектурной и функциональной задач выполняли важнейшую инженерную задачу по сбору атмосферных осадков, регулированию поверхностного и подземного стоков и служили для осушения территории.

Неудовлетворительное состояние современной вертикальной планировки поверхности регулярного парка привело к ухудшению поверхностного стока. После дождей и во время снеготаяния на территории парка образуются многочисленные скопления воды, а с северной стороны участки у большой каменной оранжереи и кухонного флигеля весной затапливаются. В отдельных местах газоны оказались ниже уровня поверхности садовых аллей.

Вследствие длительных осадок зданий и роста культурного слоя на участках, примыкающих к цоколям дворца, итальянского домика, грота, большой каменной оранжереи, кухонного флигеля, отмечаются обратные уклоны дневной поверхности. Так у стен оранжереи с северной и западной сторон величины уклонов поверхности земли к стенам составляют 0,01–0,02. Обратные уклоны земной поверхности, отсутствие эффективных отмосток, горизонтальной и вертикальной гидроизоляции фундаментов, системы ливнестоков у этих зданий привели к избыточному увлажнению фундаментов, стен зданий, проявлению морозного пучения, выветриванию строительных конструкций.

От эрозии пострадали территории, испытывающие наибольшую рекреационную нагрузку: партер, участки, примыкающие к большой каменной оранжерее, Эрмитажу, дворцу, гроту, Итальянскому домику. Наиболее пораженные эрозией аллеи совпадают с маршрутами движения экскурсионных групп и неорганизованных посетителей.

Практически неконтролируемое при ремонтных и земляных работах накопление техногенных грунтов на аллеях привело к незначительным по масштабам, но весьма существенным изменениям микрорельефа,

увеличили его шероховатость и в итоге создали благоприятные условия для эрозии. Периферийные аллеи, испытывающие минимальную рекреационную нагрузку и в меньшей степени измененные восстановительными работами, находятся в удовлетворительном состоянии.

В отличие от усадьбы "Кусково" гидрогеологический режим территории усадьбы "Архангельское" первоначально был весьма благоприятным. Первая и вторая надпойменные террасы р. Москвы, сложенные многометровой толщей песчаных отложений с грунтовыми водами на глубине от 8 до 15 м, создали основу для размещения садово-паркового ансамбля конца XVIII — начала XIX в. Парк, композиционно связанный с дворцом, представляет собой редкий образец зеленой архитектуры, объединяющей регулярную и пейзажную части и удачно сливающийся с природным ландшафтом. Террасированный рельеф местности использован для устройства двух искусственных партеров, обрамленных подпорными стенками с размещенными в них гротами.

Из-за отсутствия в последние десятилетия правильного ухода за территорией верхнего и нижнего партера значительно изменились уклоны и морфология рельефа, что привело к притоку значительного количества осадков к подпорным стенкам. Возникли условия для полного их увлажнения весной и дополнительного увлажнения в период проливных дождей летом и осенью. Значительное количество влаги сохраняется в каменной кладке до зимы, когда процессами морозного выветривания разрушается не только материал кладки, но и несущие конструкции подпорных стенок (рис. 49).

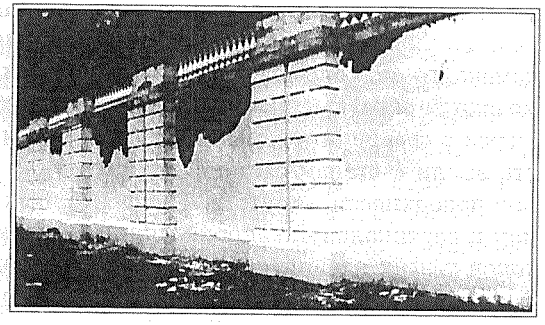


Рис. 49. Следы морозного выветривания подпорной стенки в Архангельском

Помимо внутренних причин развития процессов, определяемых в основном неуправляемым режимом эксплуатации природно-исторических территорий и недостатками строительных и реставрационных решений, в структуре исторических территорий значительное место занимают внешние причины развития процессов, связанных с экспансией городской инфраструктуры. Расширение сферы влияния городской инфраструктуры приводит к нарушению гармоничной взаимосвязи исторических территорий с примыкающим естественным ландшафтом, подвергшимся воздействию техногенеза. Примером подобного воздействия и результатом его негативных последствий может служить территория музея-усадьбы "Останкино" в Москве.

Усадьба Останкино в современных границах располагается на поверхности флювиогляциальной террасы, имеющей незначительный уклон с северо-северо-запада на юго-юго-восток, который вдоль западной границы парка составляет 0,0125, а с восточной стороны — 0,007.

Территория усадьбы перекрыта толщей современных техногенных накоплений, мощность которых составляет в среднем 0,3–0,5 м, а на участках земляных строительных работ XVII–XIX вв. — 1,8 м и более. Под техногенной толщей залегают флювиогляциальные отложения московского оледенения, представленные песками, глинами, суглинками и супесями. В меридиональном направлении среднюю часть усадьбы пересекает погребенная палеодолина, связанная с эрозионно-аккумулятивной деятельностью водно-ледниковых потоков московского оледенения

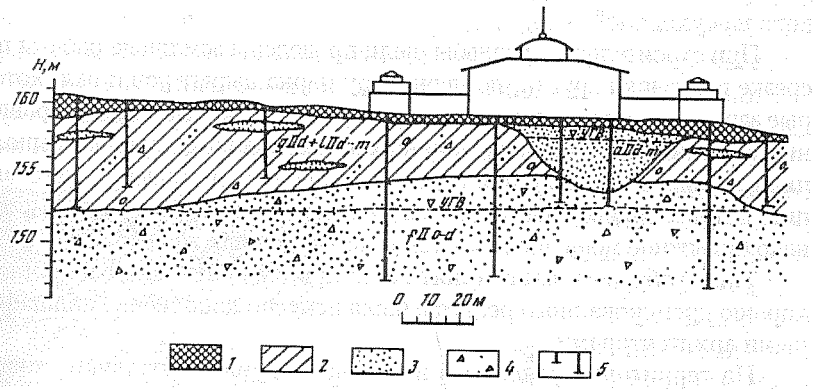


Рис. 50. Инженерно-геологический разрез основания Останкинского дворца: 1 – техногенные накопления. Суглинки, супеси; 2 – нерасчлененные озерные отложения днепровско-московского межледниковья и отложения днепровской морены. Суглинки, супеси, пески; 3 – аллювиальные отложения днепровско-московского межледниковья. Пески от гравелистых до пылеватых, глинистые; 4 – водно-ледниковые отложения окско-днепровского межледниковья. Пески средней крупности, мелкие, глинистые; 5 – разведочные скважины

(рис. 50). Полеодолина полностью компенсирована толщей флювиогляциальных, преимущественно песчаных отложений, достигающих мощности 5,0 м. Суглинистая толща днепровской морены слагает западную и восточную части парка, где она служит первым от поверхности естественным геологическим образованием и выполняет роль местного водоупора. В центральной части усадьбы днепровская морена разорвана палеодолиной. Ниже днепровской морены залегает толща подморенных флювиогляциальных отложений, представленная преимущественно песчаными грунтами, которые подстилаются суглинками окской морены.

Гидрогеологическую обстановку усадьбы определяет наличие водоносного надъюрского комплекса; водовмещающими являются надморенные и подморенные флювиогляциальные среднечетвертичные отложения. На участках, сложенных глинистыми грунтами днепровской морены и водноледниковых отложений, как на водоупорах, отмечается верховодка.

Палеогеографический анализ территории Останкино показал, что она с начала освоения имела эрозионные ложбины и была достаточно хорошо дренирована. Исторически эта особенность территории нашла отражение в первоначальном названии сельца XVI в. "Осташково на суходоле".

При строительстве усадьбы были проведены земляные работы по срезке и отсыпки грунта, по периметру парка вырыт ров и вал, которые защищали территорию от поверхностного стока. Для предотвращения увлажнения газонов регулярного парка садовые дорожки выполнялись ниже и служили для отвода воды во время ливней и снеготаяния. В придворцовой части для защиты здания от осадков было выполнено булыжное мощение отмосток и ливнесточных желобов.

Таким образом, благоприятная природная ситуация с наличием хорошо дренированного рельефа была искусно дополнена ландшафтными архитекторами.

На территории усадьбы в настоящее время отсутствуют какие-либо эффективно действующие ливнесточные сооружения. По периметру дворца устроены бетонные отмостки, отметки внешних контуров которых оказываются на 10–15 см ниже уровней поверхности окружающих их газонов. У стен здания повсеместно отмечаются обратные уклоны поверхности земли. Это приводит к тому, что практически весь объем выпадающих атмосферных осадков и вода с крыши дворца направляются и в фундаменты и к прилегающим грунтам. В результате в бутовом фундаменте формируются фундаментные воды, активно участвующие в процессе деструкции кладки подземных и надземных несущих конструкций (рис. 51).

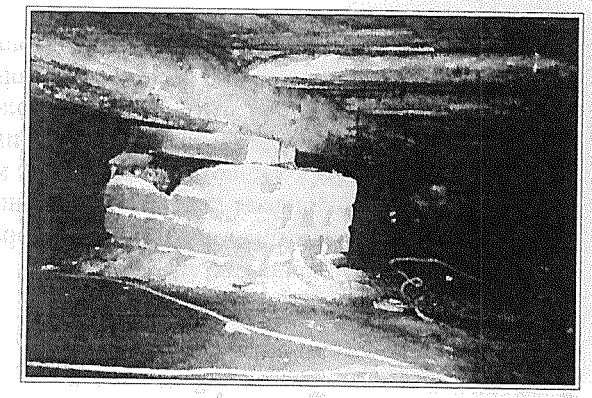


Рис. 51. Деструкция кладки столбиков Останкинского дворца в результате разгрузки фундаментных вод

Общей особенностью баланса влаги придворцовой территории является то, что большая часть выпадающих атмосферных осадков переводится в сосредоточенный у стен здания инфильтрационный поток и через выветрелые кладки цоколей в их подполья. Бетонные отмостки вокруг дворца создают паронепроницаемый экран, практически полностью исключающий возможность испарения влаги из грунтов пазух фундаментов. Пазухи фундаментов дворца в результате нарушения поверхностного и подземного стока воды оказываются избыточно увлажненными. Суглинистые грунты, заполняющие их, в предзимний период оказываются в мягкопластичном, часто водонасыщенном состоянии.

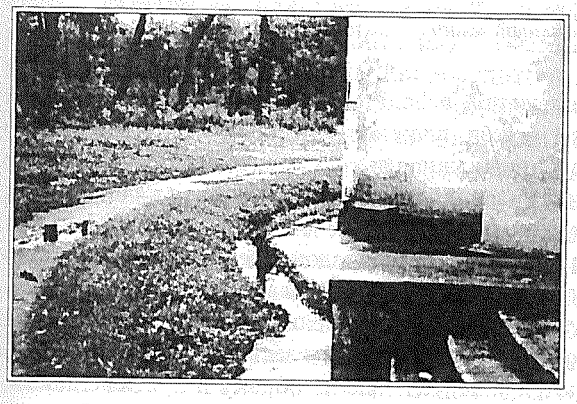


Рис. 52. Бессточные участки вблизи Останкинского дворца

Отсутствие мер инженерной защиты зданий дворца от атмосферных осадков приводит к тому, что значительный по объему поверхностный сток аккумулируется на практически бессточных площадках. (рис. 52). Большая часть этого стока фильтруется через хорошо проницаемый выветрелый

цоколь здания в подполье.

Укладка всей площади подполья асфальтовым покрытием спровоцировало активную миграцию поровых растворов к местам разгрузки, которыми стали цоколи стен, несущие столбики и фундаменты печей. Присутствие асфальтового покрытия привело к характерному в этих случаях распределению влажности — с максимальными значениями непосредственно под покрытием. На рис. 53 приведено изменение по глубине весовой влажности раствора (а) и материалов каменной кладки столбиков по их высоте (б).

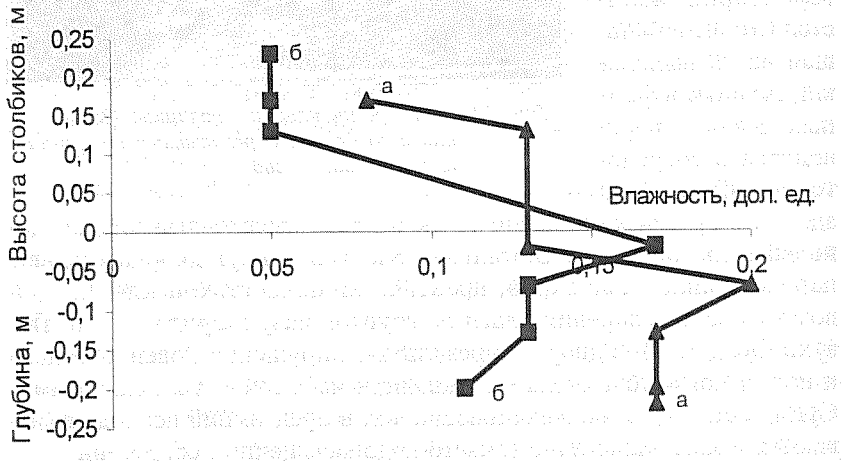


Рис. 53. Изменения по глубине весовой влажности раствора (а) и каменной кладки столбиков (б) по высоте

Конденсирование влаги под асфальтом привело к полному водонасыщению техногенных грунтов, влажность которых почти в 2,5 раза превышает среднее значение влажности этих грунтов в обычных условиях. Данные на графике значения влажности материала кладки показывают, что непосредственно под асфальтом кладка находится в состоянии полного водонасыщения, которое предопределило содержание в ней водорастворимых сульфатных солей и гипса до 1,2–4,1%.

Затопление подполий привело к проявлениям суффозионно-просадочного и эрозионного процессов в грунтах засыпки подполья. При этом в грунтах образуются значительные по объему и протяженности скрытые пустоты, угрожающие устойчивости конструкций и безопасности памятника (рис. 54).

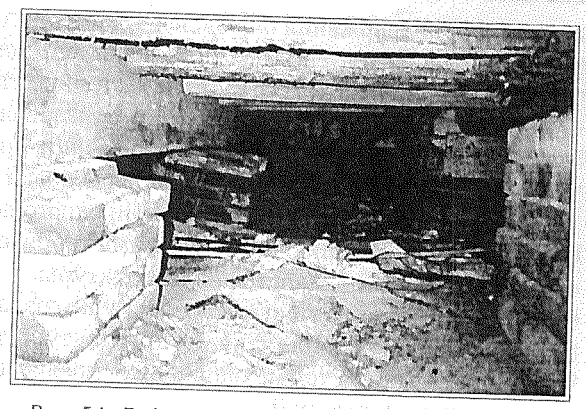


Рис. 54. Деформация столбиков в результате суффозионно-просадочных процессов в основании Останкинского дворца.

Таким образом, при инженерно-геологическом изучении садово-парковых ансамблей России XVIII–XIX вв. и составлении проектов их реставрации должно уделяться серьезное внимание строению техногенных накоплений и состоянию дневной поверхности природно-исторических территорий. Неуправляемое формирование этих территорий служит причиной развития процессов, отрицательно влияющих на сохранность памятников архитектуры.

Природные геосистемы, с которыми связаны исторические территории динамичны, изменчивы в пространстве и времени, поскольку в период своего развития за последнее столетие подвергались серьезным воздействиям. Но независимо от них природная геосистема стремится сохранять положение динамического равновесия, проявляя свои саморегулирующие функции в виде приспособительных реакций составляющих ее элементов (адаптация). Это адаптирование к действию факторов окружающей среды происходит с использованием имеющихся ресурсов поверхности при образовании техногенного рельефа. Его составляющими одновременно могут быть как денудационные формы (уступы, откосы, бровки, канавы и прочее), так и аккумулятивные (насыпи, валы, культурный слой и т.п.).

Существование связи между ними вполне логично, поскольку формы рельефа как переходящие плосколоманные и кривые элементы поверхности или полузамкнутые объемы не могут находиться в изоляции друг от друга. Эта опосредованная морфологическая связь определяет особую функциональную связь разных форм рельефа. Поскольку все они объединяются в общую поверхность части исторической территории, подверженной изменениям, то каждый элемент, каждая поверхность рельефа выполняет свою "работу" в физическом

смысле для поддержания определенной стадии динамического равновесия. Изменение интенсивности условий, определяющих стадию равновесия, приводит к "работе" по перестройке структуры поверхности и она начинает соответственно преобразовываться.

Территориальный подход при решении проблем сохранения и поддержания архитектурного наследия основан на рациональном использовании ресурсов территорий, природного потенциала, принятых решений по управлению историческими территориями и формированию в их границах хозяйственной структуры.

К сожалению во многих случаях уже созданы условия для медленного разрушения памятников архитектуры в результате нарушения природных систем и ошибочной хозяйственной эксплуатации исторических территорий.

Ниже приводится описание различных по своей структуре природных систем в исторических центрах старинных русских городов, испытывающих разные по масштабу и характеру техногенные нагрузки, которые определяют степень природных рисков при сохранении памятников архитектуры.

Решение задач современного градостроительства, в частности регенерации древнеурбанизированных территорий, невозможно без совокупного рассмотрения природных и техногенных компонентов сложившегося культурного ландшафта. Актуальность такого подхода для ряда малых и средних городов России продиктована исключительной необходимостью сохранности градостроительной и природной среды городов, формирующих в своем взаимопроникновении их неповторимый образ. Специфическими особенностями городских исторических территорий является относительно длительный эволюционный период развития и наличие объектов опасности (памятники архитектуры и археологии), требующих поддержания сложившегося здесь относительного динамического равновесия, поскольку при сохранении города как артефакта необходимо постоянное обновление инфраструктуры, а это, в свою очередь, приводит к снижению устойчивости геологической среды.

Инженерно-геологические оценки исторических территорий показывают, что определяющую роль в формировании неблагоприятных процессов играют искусственные изменения режима поверхностного стока и испарения влаги из зоны аэрации. Обычно эти изменения связаны с непродуманными во времени решениями по отношению к формированию техногенного рельефа, в значительной степени искажающим его естественный характер.

Обследование территории Соборного холма г. Смоленска выявило сформировавшийся в течении XIX–XX вв. мезо- и микрорельеф, отражающий характер застройки и масштаб применения паронепроницаемых покрытий в пределах холма. При общей площади обустроенной части холма более 23 тыс. м^2 территория под историческими и современными постройками составляет немногим более 30% , площадь паронепроницаемых покрытий — 35%.

Асфальтом оказались перекрыты булыжные мостовые, проезд вблизи Богоявленского собора и площадь перед Успенским собором, а часть соборного двора покрыта пиленными каменными плитами на сухой цементной смеси с заделкой швов цементным раствором. Площадь этих покрытий вместе с площадью застройки составляет более

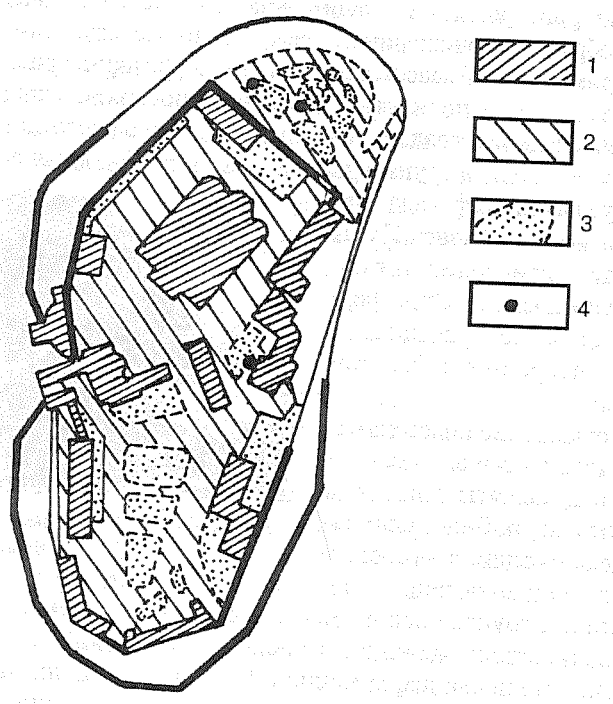


Рис. 55. План Соборного холма Смоленского кремля. Соотношение паронепроницаемой и открытой поверхности холма: 1 – участки размещения памятников; 2 – участки покрытые асфальтом; 3 – участки инфильтрационного питания; 4 – места сосредоточенной инфильтрации

65% (рис. 55), которая практически исключила попадание атмосферных осадков в толщу грунтов холма.

Однако использование паронепроницаемых покрытий привело к экранирующему воздействию на процесс испарения влаги из зоны аэрации. Нарушение свободного испарения привело при конденсировании пара к образованию дополнительной разгрузки из зоны аэрации более 2 тыс. $м^3$ воды в год, которая мигрирует к открытым поверхностям и заглубленным конструкциям фундаментов и стен, а через них в атмосферу.

В результате инициируемой миграции влаги, несущие конструкции всех обследованных памятников архитектуры носят следы избыточного увлажнения, подчеркнутой высолами на стенах по верхнему краю капиллярной каймы.

На территории холма значительная часть газонов выполнена в виде мульдообразных понижений в рельефе, которые оказались на 0,1–0,2 м ниже примыкающей заасфальтированной территории (рис. 56), что затрудняет, а порой полностью исключает поверхностный сток атмосферных осадков и создает условия для активной сосредоточенной инфильтрации воды в грунтовую толщу холма. Подобная ситуация возникла у северного фасада здания консистории (конец XVIII в.), где происходит интенсивное поглощение атмосферных осадков, собирающихся с крыш и покрытого асфальтом дворика.

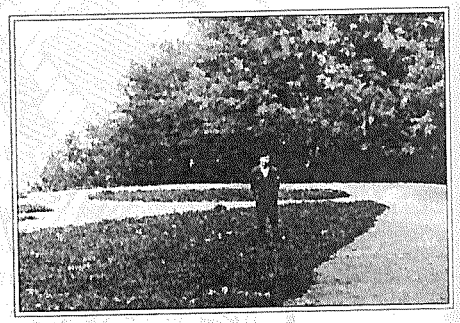


Рис. 56. Мульдообразные понижения в рельефе Соборного холма Смоленского кремля

Поглощение поверхностного стока у стен здания консистории, испытывающего и без того аварийные осадочные деформации, способствует увлажнению несущих конструкций и грунтов основания, снижая их несущую способность. В подобном состоянии оказался также Архиерейский дом, испытывающий значительные деформации. Размещение зданий и построек по контуру бровки холма, размещение на склоне ограды и подпорных стенок, лишенных дренажных и водопропускных устройств, создало затруднения для поверхностного стока атмосферных осадков.

Таким образом, длительное обустройство Соборного холма в значительной степени изменило естественный первоначальный баланс

атмосферных осадков. Изначально Соборная гора, благодаря значительной расчлененности рельефа и наличию толщи проницаемых песков, была хорошо дренирована. Со временем, в связи с изменением поверхностной инфраструктуры, Соборная гора стала областью сосредоточенного питания на участках интенсивной инфильтрации. Это привело к образованию техногенного водоносного горизонта, приуроченного к вершинной части Соборной горы.

Присутствие водоносного горизонта, локализованного в водораздельной части холма на глубине от 2,6 до 4,5 м в хорошо проницаемой песчаной толще, свидетельствует о значительных техногенных изменениях в состоянии поверхностного и подземного стоков. Эти изменения привели к замачиванию верхней части склона и обусловили снижение устойчивости техногенных накоплений, являющихся основанием фундаментов Архиерейского дома, и развитие деформаций несущих конструкций.

Таким образом, совокупность техногенных изменений состояния геологической среды Соборной горы изменили ее естественную дренирующую способность, баланс поверхностного и подземного стоков и испарения из зоны аэрации и привели к формированию техногенного водоносного горизонта. Насыщение грунтов оснований, особенно техногенных, снизило их несущую способность и привело к развитию неравномерных осадок и деформаций зданий: Успенского собора, консистории, Архиерейского дома, церкви Иоанна Предтечи и подпорных стенок.

Фактически сложилась парадоксальная ситуация, при которой стремление, направленное на сохранение памятников, вступило в противоречие с общими тенденциями урбанизации исторических территорий. Например, в исторических центрах таких городов как Великий Новгород, Псков, Ростов Великий, Старая Русса, остро встал вопрос сохранности памятников архитектуры и археологических объектов культурного слоя в связи с работами по реконструкции исторических центров.

Поиск компромисса на наш взгляд возможен, если методология оценки устойчивости геологической среды исторических городов будет базироваться на выявлении потенциала "барьерных элементов" и на определении областей допустимых состояний. Например, средообразующие функции исторической системы г. Городца с его памятниками архитектуры и исторической застройкой, определяются прежде всего природными структурами. Длительная сохранность памятников обеспе-

чивается во многом за счет наличия установившегося режима функционирования компонентов геологической среды, барьерно-распределительная фунция которых обеспечивает много- и внутривековое безопасное функционирование исторической территории. К ним могут быть отнесены морфология рельефа города, состоящая из трех основных элементов: поймы, первой надпойменной террасы и перигляциального плато с прорезающими их оврагами. На склонах перигляциального плато наблюдается эрозия дневной поверхности. Крупные промоины (глубиной до 1 м) отмечаются непосредственно на оборонительном вале. Там же зафиксированы локальные сплывы насыпи, при этом формируется мелкобугристая поверхность с высотой бугров не более 0,5 м.

Поверхность плато отличается небольшими уклонами 1–1,5°, причем общей тенденцией является выравнивание поверхности при планировке окружающей застройку территории, что привело к общему снижению энергии рельефа и уменьшению склонового транзита, интенсивности поверхностного стока в этой части исторической зоны, замкнутой контуром оборонительных валов.

Особую роль экологического барьера приобретает овражная сеть, прорезающая перигляциальное плато, состояние которой свидетельствует: об общей энергии рельефа, структуре водосброса, интенсивности поверхностного стока в условиях перигляциального аллювия.

Помимо элементов рельефа для исторической территории г. Городца своеобразным экологическим барьером служат грунты основания памятников архитектуры, определяющие устойчивость геологической среды, и от состава и состояния которых объективно зависит безопасность охраняемой территории. Вертикальной границей этого элемента является мощность четвертичного покрова (15–26 м). Он представлен аллювиальными пылеватыми песками с прослоями глин, суглинков и супесей, накопившихся в условиях пойменных разливов позднечетвертичного времени. В районе исторического ядра города они залегают непосредственно на коренных бортах речной долины р. Волги, которые подстилаются глинами татарского яруса пермской системы. Аллювиальные отложения характеризуются повышенным содержанием пылеватых и глинистых частиц (25–42%) и неоднородностью состава (ни одна гранулометрическая фракция не достигает 50%). Плотность скелета пылеватых песков составляет 1,51–1,77 т/м^3, коэффициент пористости изменяется от 0,51 до 0,75, а влагоемкость — от 0,19 до 0,28 в зависимости от примеси тонкодисперсного материала.

Пластичные супеси характеризуются пористостью в диапазоне 36–40% и влагоемкостью — 0,22–0,25. Указанные характеристики делают данный тип грунта уязвимым для дополнительного увлажнения при промерзании, а следовательно, и для развития процесса морозного пучения.

Активизация морозного пучения (около 40% всех зданий и сооружений исторической зоны деформируются вследствие этого процесса: развитие скалывающих напряжений, отрыв блоков кладки в цокольной части и фундамента здания в виде трехгранных призм и т.д.) свидетельствует об общем снижении и в ряде случаев потере территорией устойчивости к этому неблагоприятному техноприродному процессу.

В сегодняшних условиях к объективно существующим предпосылкам активизации этого процесса добавляются: наличие паро- и влагонепроницаемых покрытий дневной поверхности, приводящих к увеличению влажности грунта за счет конденсации влаги; возможность подтока воды из водонесущих коммуникаций к промерзающему грунту, неблагоприятный тепловой режим подвальной части большинства зданий памятников архитектуры. Кроме того, повсеместное распространение техногенных накоплений, слагающих культурный слой, влияет на изменение состояния подстилающих их отложений, то есть фактически служит дополнительным прессингом, ухудшающим экологическую устойчивость данного элемента исторической зоны города.

Специфичность структуры геологической среды территории создают условия для формирования вод типа "верховодки" на локальных водоупорах (глубина залегания уровня составляет 1,2–11,7 м). Ее питание — инфильтрационное и техногенное за счет утечек и прорывов воды из коммуникаций, поливов и т.п.

В настоящее время природно-техническая система исторической зоны г. Городца способна противостоять внешним и внутренним возмущениям, сохраняя равновесное (или гомеостатическое) состояние и структуру. Тем не менее, инерционность системы, ее сопротивляемость снижаются в связи с техногенным воздействием, приводящим к развитию неблагоприятных инженерно-геологических процессов и ликвидации геоэкологических барьеров.

Таким образом, выявление и анализ степени изменчивости барьерно-распределительных элементов геологической среды г. Городца позволяет определить величину опасности при возрастании интенсивности нагрузки градостроительного фактора.

3.4. Изменение баланса влажности грунтов в основании памятников архитектуры

Отсутствие правильного ухода и слежения за территориями памятников, неконтролируемый ход хозяйственного освоения окружающей их местности, вызывают, с одной стороны, образование техногенных накоплений, а с другой стороны, приводят к деформации дневной поверхности, нарушая первоначальную вертикальную планировку и прямо связанную с ней структуру поверхностного и подземного стоков, а также условия инфильтрационного питания грунтовых вод. Все это сказывается на режиме зоны аэрации.

На застроенных исторических территориях, в связи с уменьшением инфильтрации атмосферных осадков за счет создания искусственных влаго- паронепроницаемых покрытий, в ряд важнейших источников увлажнения грунтов зоны аэрации попадает процесс конденсирования пара, испарившегося с поверхности грунтовых вод. По данным [34] увеличение влажности грунтов за счет конденсации может составить 5–10%. Дальнейшие пути миграции влаги зависят от конкретной структуры зоны аэрации в сфере взаимодействия с фундаментами и цокольной части зданий памятников, а также от степени "просветности" в искусственных покрытиях.

Покрытие улиц, тротуаров, площадей, устройство отмосток с применением асфальта и бетона при сохранившейся плотной застройке центров исторических городов привело к созданию резкого дисбаланса в распределении атмосферных осадков, что не замедлило сказаться на состоянии зоны аэрации.

В общем виде зона аэрации представляет собой верхнюю часть геологической среды, где сосредоточено взаимодействие многих факторов, что оказывается достаточным условием для возникновения изменений, приводящих к негативным последствиям при сохранении памятников. Прежде всего это пространство, в котором расположены фундаменты, заглублены подвалы и подполья, размещается культурный слой с археологическими памятниками. В пределах зоны аэрации размещены и водо-, электро- и теплонесущие коммуникации, являющиеся источниками соответствующих воздействий на геологическую среду, которые при взаимодействии с ее составом и структурой определяют развитие процессов, от которых в значительной мере зависит сохранность и стабильность грунтов и фундаментов. Так, например, за счет только термоградиентов, наведенных теплокоммуникациями, глинистые грунты увеличивают влажность на 5–7% [1].

Это пространство является областью транзита весьма изменчивых во внутригодовом и многолетнем циклах водного, газового, солевого и теплового потоков, это область развития электромагнитных полей и механических воздействий, что приводит к изменениям физико-механических свойств грунтов оснований и к провоцированию опасных инженерно-геологических процессов (пучение, осадка, просадка, набухание, промерзание и оттаивание, образование верховодки, агрессивное воздействие подземных вод и поровых растворов на материал фундаментов и стен памятников). Будучи буферной зоной между атмосферной влагой, климатическими и техногенными факторами и грунтовыми водами, зона аэрации сохраняет повышенную чувствительность лишь к воздействию техногенных факторов, поскольку первые два и зона полного насыщения определяют ее естественное относительно равновесное состояние. Локальное вмешательство техногенных факторов значительно его нарушают, создавая условия для образования повышенной влажности, что негативно сказывается на сохранности памятников архитектуры.

Дополнительное увеличение влажности грунтов зоны аэрации происходит в предзимний период, когда тепловой поток вследствие температурного градиента направляется снизу вверх в сторону охлажденного грунта вблизи фундаментов, куда под действием сил упругости устремляются водяные пары. В результате созданного температурного градиента к их поверхности мигрирует не только парообразная, но и пленочная, и капиллярная вода [16]. Таким образом, термовлагооборот в зоне аэрации переводит и связанную воду в свободную. При наличии в этой зоне пылевато-глинистых грунтов с высокой капиллярностью, увеличение влаги столь велико, что оно в зимнее время приводит к образованию шлиров льда.

Этот процесс протекает неравномерно и приток влаги снизу наиболее активно проявляется на участках повышенного охлаждения и промерзания. К ним в первую очередь относится зона интенсивного охлаждения вокруг валунного и белокаменного фундаментов, поскольку их теплопроводность превышает теплопроводность вмещающих грунтов до 50% [44]. Так по данным польских специалистов [43], увеличение влажности материала стен и фундаментов по массе на 26–28% приводит к увеличению их теплопроводности в 1,5 раза. Это особенно опасно при увеличении промораживания фундаментов и примыкающих к фундаментам грунтов, склонных к морозному пучению.

Состояние зоны аэрации весьма чувствительно к искусственным покрытиям поверхности земли и запущенности приповерхностной инфраструктуры исторических территорий.

Рассмотрим воздействие состояния поверхности вблизи памятников архитектуры на антропогенное ослабление поверхностного стока с переводом его в грунтовый поток и условия формирования влажности грунтов в зоне аэрации в результате уменьшения площади испарения, конденсации влаги под зданиями памятников архитектуры и создания вокруг них паронепроницаемых покрытий.

Конденсационное накопление влаги вблизи фундаментов памятников под паронепроницаемыми отмостками и покрытиями подтверждается рядом экспериментальных исследований, проведенных в последние годы. Наблюдения проводились за изменением влажности и температуры глинистых грунтов, залегающих около фундаментов и в основании. Опыты показали значительное увеличение влажности по мере приближения к поверхности, имеющей искусственное покрытие. Следует отметить, что до перекрытия поверхности приповерхностные, в частности, покровные суглинки имели незначительную влажность. Однако, после их перекрытия, они насыщались водой даже в самое сухое время года. Это явление связано с возрастающей всасывающей способностью глинистых грунтов и происходит в сторону грунтов с меньшей влажностью, с более низкой температурой и меньшим давлением пара, т.е. в значительной степени подчиняясь термоосмотическому градиенту. По этой же причине в подобных условиях влага перемещается и в сторону фундаментов, переувлажняя глинистый заполнитель валунных фундаментов или проникая в капиллярные поры белокаменных и кирпичных фундаментов. Естественно, что процесс миграции влаги в этих случаях во многом зависит от теплофизических свойств кладки фундаментов, экспозиции элемента памятника, климатических особенностей региона и его метеорологических особенностей (перепады температуры, влажность воздуха, давление). В зависимости от вида покрытия существенно изменяется водный баланс территории. Количество влаги, которое просачивается в единицу времени через грунты зоны аэрации до грунтовых вод (W_a), может быть определено по формуле :

$$W_a = (1 - \lambda)\,\chi\,\alpha$$

где: α — коэффициент, учитывающий относительное задержание влаги в зоне аэрации; λ — коэффициент поверхностного стока; χ —

величина атмосферных осадков, часть которых образует поверхностный сток $S = \lambda\,\chi$, а оставшаяся часть сохраняется на поверхности, образуя величину инфильтрационного питания $(1 - \lambda)\,\chi$.

Значение коэффициента α зависит от глубины залегания грунтовых вод и типа грунта. При глубине грунтовых вод от 1,0 до 2,0 м, например, для средних суглинков, значение коэффициента α изменяется от 0,52 до 0,32, для легких суглинков — от 0,74 до 0,45.

Расчетная величина χ принимается как среднемноголетняя в соответствии с [34] и составляет, например, для Московского региона 625 мм/год, для Великого Новгорода — 728 мм/год. Поскольку состояние зоны аэрации весьма чувствительно к тому, имеет ли поверхность искусственное паронепроницаемое покрытие или находится в естественном положении, представляется важным показать величину просачивания (W_a) для обоих случаев. При этом коэффициент поверхностного стока (λ) определяется [41] и составляет для открытых спланированных поверхностей $\lambda_1 = 0{,}2$, а для закрытых асфальтом — $\lambda_2 = 0{,}95$. В качестве примера приводится изменение баланса влажности грунтов в историческом центре Великого Новгорода (табл. 7*).

Приведенные расчеты для условий Великого Новгорода, при характерных среднегодовых уровнях грунтовых вод показали, что асфальтовое покрытие снижает величину инфильтрации более, чем на порядок.

Таблица 7

Величина просачивания для открытых и закрытых поверхностей

Глубина залегания грунтовых вод, м	Значения W_a для открытых грунтовых поверхностей, м³/сут на 1 м²		Значения W_a для закрытых асфальтовых поверхностей, м³/сут на 1 м²	
	средние суглинки	легкие суглинки	средние суглинки	легкие суглинки
1,0	$8{,}32 \times 10^{-4}$	$11{,}82 \times 10^{-4}$	$0{,}52 \times 10^{-4}$	$0{,}74 \times 10^{-4}$
1,5	$6{,}76 \times 10^{-4}$	$9{,}6 \times 10^{-4}$	$0{,}42 \times 10^{-4}$	$0{,}60 \times 10^{-4}$
2,0	$5{,}12 \times 10^{-4}$	$7{,}2 \times 10^{-4}$	$0{,}32 \times 10^{-4}$	$0{,}45 \times 10^{-4}$

* Таблицы 7 и 8 составлены по материалам А.М. Галича.

Если W_a является величиной, определяющей положительную статью водного баланса грунтовых вод, то их расход на испарение (U) соответственно характеризует отрицательную статью. Величина испарения с зеркала грунтовых вод определяется климатическими факторами, гидрогеологическими условиями и экранирующим эффектом искусственного покрытия поверхности.

Климатические факторы определяют в основном испарение с поверхности земли, в результате чего осушается верхняя часть зоны аэрации и начинается вертикальное перемещение влаги из зоны полного насыщения к поверхности. Испарение же непосредственно с поверхности зеркала грунтовых вод относительно меньше, по сравнению с вертикальным оттоком в зону аэрации и дальнейшим испарением с поверхности земли. Суммарная интенсивность испарения с поверхности грунтовых вод при неэкранированной поверхности с 1 м^2 в единицу времени ($U_{оп}$) определяется по формуле: $U_{оп} = U_o K_h$, где U_o – испаряемость, м/сут, которая на основании [41] для рассматриваемых условий составляет около 480 мм/год или $1{,}34 \times 10^{-3}$ м/сут; K_h – поправочный коэффициент, учитывающий глубину залегания грунтовых вод, который при их глубине залегания от 1,0 до 2,0 м составляет для средних суглинков 0,42–0,20, для легких суглинков 0,29–0,13.

Результаты определения величины испарения для Великого Новгорода приведены в табл. 8 и показывают, что величина испарения с поверхности грунтовых вод для гидрогеологических условий города 11,5–3,5 раза меньше инфильтрации атмосферных осадков.

Таблица 8

Интенсивность испарения в зависимости от глубины залегания грунтовых вод

Глубина залегания грунтовых вод, м	Значение $U_{оп}$, м^3/сут на 1 м^2	
	средние суглинки	легкие суглинки
1,0	$5{,}62 \times 10^{-4}$	$3{,}88 \times 10^{-4}$
1,5	$4{,}15 \times 10^{-4}$	$2{,}81 \times 10^{-4}$
2,0	$2{,}68 \times 10^{-4}$	$1{,}74 \times 10^{-4}$

Асфальтовые и другие виды паронепроницаемых покрытий* вместе с застройкой исторических территорий практически исключают попадание атмосферных осадков (χ) в грунт, но с другой стороны, оказывают экранирующее воздействие на испарение влаги из зоны аэрации. Это приводит к активизации процессов термовлагопереноса и конденсации влаги и, в конечном итоге, к ее накоплению под паронепроницаемыми покрытиями.

Выпадающие атмосферные осадки при отсутствии в покрытиях просветов в основном становятся поверхностным стоком, поскольку его коэффициент в этом случае весьма высок ($\lambda = 0{,}95$) и частично испаряются с поверхности искусственных покрытий. Для этого случая можно принять, что водообмен между поверхностью земли и грунтами зоны аэрации отсутствует и вся испарившаяся с поверхности грунтовых вод влага, а она для условий Великого Новгорода составляет $3{,}93 \times 10^{-4}$ м^3/сут с 1 м^2, остается в зоне аэрации. Разгрузка избыточного увлажнения происходит в сторону открытых пространств на дневной поверхности земли и в сторону незащищенных гидроизоляцией фундаментов, подвальных помещений, вызывая их увлажнение.

Интересно представить количественное выражение накапливаемой в зоне аэрации влаги на исторических территориях, площадь которых экранирована от возможности разгрузки за счет испарения. Выполненные расчеты для существующих в Великом Новгороде экранированных поверхностей в исторической части города показали, что они для Софийской стороны составляют 203 га, для Торговой – 209 га. Это приводит к тому, что ежегодно разгружающаяся из зоны аэрации влага составляет для Софийской стороны 290000 м^3, для Торговой – 300000 м^3. Систематическое увлажнение грунтов зоны аэрации привело в последние годы к резкой активизации в городе процессов криогенного пучения и снижению сохранности многих памятников архитектуры.

Покрытие Соборной площади Московского кремля из слабопроницаемых песчаников на бетонной основе оказало экранирующее воздействие на процесс эвакуации влаги из зоны аэрации за счет ее испарения. Поэтому, почти вся способная испариться в течение года с

* В последние десятилетия наряду с асфальтом стали широко применять покрытия из гранитных плит, брусчатки, искусственных керамических блоков и естественных плит из песчаника на сухой цементной смеси. Такие покрытия были применены, например, на Соборной площади Московского кремля, на Поклонной горе, на Манежной площади, на территории здания приемов МИД (особняк З. Морозовой).

поверхности уровня грунтовых вод влага, а она, в среднем, для Соборной площади составляет около 1500 м^3 в год, остается в грунтах зоны аэрации. Подобное перенасыщение зоны аэрации вызывает активизацию процессов термовлагопереноса и конденсации влаги, как его составляющей и трансгрессию ее в фундаменты зданий памятников, расположенных на этой территории.

В результате может оказаться, что та мера защиты деревянных свай, предпринятая старыми мастерами под колокольней Ивана Великого и рассмотренная в разделе 1.2, может оказаться недостаточной при ежегодно повторяющемся переувлажнении зоны аэрации под памятником архитектуры мирового значения.

В создавшихся условиях изменение путей миграции влаги за счет появления в 80-е годы непроницаемых покрытий привело к разгрузке ее через поверхности фундаментов и цоколей в несущие конструкции и далее, под действием капиллярных сил, в интерьеры соборов и палат. Так, влажность стен Успенского собора увеличилась на 12%. При этом интенсивное растворение солей зоны транзита влаги в теле несущих конструкций и кристаллизация их в зоне испарения постоянно и активно разрушает памятник.

Вследствие систематического увлажнения грунтов зоны аэрации активизируются процессы морозного пучения, влияющие на сохранность несущих конструкций памятников (например, юго-восточная пилястра Успенского собора), на деформацию плит покрытия (в виде их коробления).

Важную роль в поддержании оптимального режима геологической среды играют утилитарные элементы, обеспечивающие регулирование поверхностного стока и эвакуацию атмосферных осадков. Выход из строя этих элементов приводит к медленному разрушению сложившейся приповерхностной инфраструктуры и развитию опасных для сохранения памятников процессов.

Так, например, за последнее столетие на территории музея-усадьбы Останкино оказались разрушенными и погребенными все элементы ливнесточных систем. Повсеместно отмечены обратные уклоны поверхности земли у стен дворца. Практически весь объем стока воды с крыши дворца и с прилегающей территории переводится в инфильтрационный поток, насыщающей фундаменты и грунты основания дворца, образуя верховодку.

В общей структуре расходной части баланса влаги на территории усадьбы стал заметно преобладать подземный сток. Это привело

к подтоплению территории памятника, угрожающему ухудшению влажностного режима интерьеров и несущих конструкций здания, активизации криогенных деформаций и выветривания материалов каменных кладок, активному гниению деревянных конструкций дворца.

Затрудненный сток атмосферных осадков, в условиях сложившейся поверхностной инфраструктуры, привел к инфильтрации засоленных атмосферных осадков в фундаменты дворца и через деструктированные цоколи в грунты подполья. В результате, в бутовом фундаменте формируются фундаментные воды, а в несущих перекрытиях первого этажа и кирпичных столбиках появляется подсос, который приводит к активному разрушению кирпичных кладок.

Выход из подобных ситуаций следует искать в направлении создания водообмена грунтов зоны аэрации с атмосферой, применяя "дышащие" дискретные покрытия из традиционных материалов: булыги, брусчатки или плит песчаника, придав им активные уклоны. Укладка этих материалов должна производиться на гравийно-песчанную подсыпку с предварительным уплотнением и сохранением швов, заполненных крупнозернистым песком, через которые осуществляется воздухообмен и влагоперенос.

В старых русских городах и на территории многих памятников эта технология покрытия была широко распространена (рис. 57), но, к сожалению, почти полностью исчезла к середине XX века, хотя за рубежом широко используется в исторических центрах почти всех городов до сих пор.

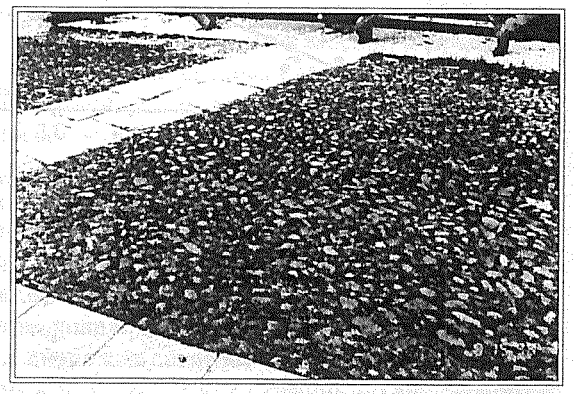


Рис. 57. Мощеная поверхность вблизи Спасо-Преображенского собора Валаамского монастыря

Кроме внешних обстоятельств, определяющих влажностной режим сферы взаимодействия памятников, существенную роль в его формировании играют внутренние факторы, в частности, структура и состав техногенных грунтов. Их накопление, как правило, приводит к

нивелированию дневной поверхности и увеличению дренирующей способности разреза.

В результате происходит изменение гидродинамического баланса в сторону повышения влажности грунтовой толщи, но с другой стороны, формирующаяся структура и состав техногенных накоплений обуславливает повышение влажности грунтов.

Сингенетический характер повышения влажности техногенных накоплений подтверждается хорошей сохранностью органических остатков в анаэробной среде. Для территории Ростовского кремля на рис. 58 достаточно наглядно показана связь между влажностью суглинков нижней пачки техногенных накоплений и содержанием в них органических остатков в виде щепы, древесины, гумуса, навоза.

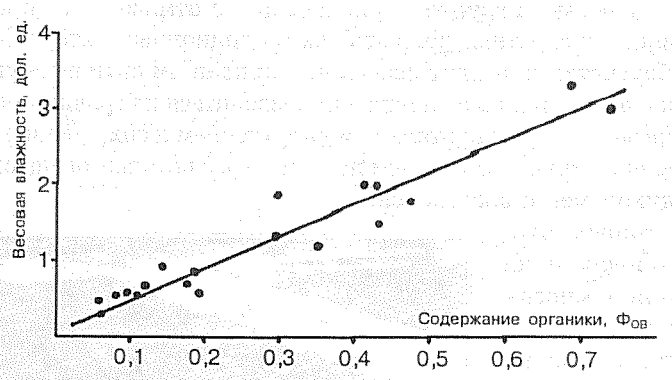


Рис. 58. Зависимость влажности техногенных суглинков от содержания органических остатков

Интересные данные о распределении влажности техногенных грунтов в основании колокольни Ивана Великого приведены в работе [8]. В результате проведенных радиоизотопных измерений влажности техногенных грунтов, была выявлена зависимость влажности от содержания органических остатков. Так, например, для слоя техногенных грунтов обогащенных гумусом, в интервале глубин 3,5–5,5 м влажность составила 50–60%, тогда как для грунтов не содержащих гумуса, влажность находилась в пределах 20–25%. Повышенная влажность гумуссированных техногенных грунтов объясняется их значительной молекулярной влагоемкостью.

Наличие слоя техногенных грунтов со значительным содержанием гумуса, способным поглощать и накапливать влагу, определяет условия для миграции влаги в тело фундамента и повышения влажности кладки фундаментов и цоколя колокольни. Было установлено, например, что влажность известняка в цоколе колокольни, в результате миграции влаги, увеличилась почти в 30 раз по сравнению с влажностью белого камня, которая в естественном состоянии составляет 0,24%.

3.5. Химические и минеральные преобразования материалов фундаментов

Разгрузка водных растворов, несущих следы химического загрязнения атмосферы, через заглубленные в грунт фундаменты и стены памятников, испарение поровых растворов с открытых поверхностей подвалов, подклетов, подполий и с поверхности цокольных частей зданий сопровождается процессами метасоматического минералообразования и засоления строительных материалов конструкций. Рост кристаллов солей и грануляция белого камня вызывают интенсивное напряжение в строительных конструкциях и их разрушение в зоне кристаллизационной каймы и осыпание продуктов разрушения.

Вызванное этими процессами выветривание кладок протекает неравномерно в кирпичах, белом камне и кладочных растворах. Оно сопровождается потерей массы и формы элементов кладки, разрушением ее частей и выпадением кирпичей из кирпичных кладок, их расслаиванием, выщелачиванием белого камня, прогрессирующим снижением, а иногда и потерей несущей способности нарушенных конструкций.

Обусловленные этими взаимодействиями процессы внутри конструкций, в конечном итоге, приводят к образованию высолов на стенах. Процесс их образования по своему характеру является скрытым и обнаруживается лишь после физического поражения красочного или штукатурного слоя, или материала кладки цоколя и стен.

Некоторые исследователи считают высолы грибковыми или бактериальными образованиями и рекомендуют вести с ними борьбу, как с органическими веществами. Для прояснения их природы в лаборатории физических методов исследования руд и минералов Московской государственной геологоразведочной академии был проведен комплекс исследований вещественного состава этих новообразований.

Исследуя проблему образования высолов на памятниках архитектуры, необходимо дать определение введенному понятию. Под высолом следует понимать агрегат минеральных солей, имеющий

кристаллическую структуру и образующийся в результате выпаривания водных растворов [35]. Следует добавить, что высолы могут состоять либо из одного минерала, либо включать два и более минералов. Они могут образовываться как на поверхности несущих конструкций, так и внутри них. Это связано с расположением испарительного гидрогеохимического барьера, на котором происходит минералообразование.

Изменение во времени использования разных строительных материалов и технологий, эволюционные изменения природной среды под влиянием техногенеза обеспечило ускорение развития процессов, приводящих к образованию высолов, появлению нескольких геохимических барьеров и увеличению разнообразия минерального состава высолов.

Наибольший интерес представляют участки геохимических барьеров, на которых наблюдается резкое изменение физико-химической обстановки и прежде всего увеличение концентрации солей. Встречающиеся геохимические барьеры относятся к испарительному типу. В их пределах конденсируются следующие анионы и катионы: $[CO_3]^{2-}$, $[SO_4]^{2-}$, $[NO_3]^-$, Cl^-, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+}.

Расположение гидрогеохимического барьера в приповерхностных участках стен зависит от проницаемости материалов, облицовочных покрытий. При полной паровлагопроницаемости этих покрытий барьер располагается на поверхности стен, где и происходит испарение и кристаллизация солей. Наличие паропроницаемых покрытий, но обладающих влагонепроницаемостью, определяет образование гидрогеохимического барьера между несущим остовом конструкций и облицовочным материалом. Кристаллизация солей в этой зоне приводит к шелушению внешней поверхности материала кладки за счет сил кристаллизационного роста агрегатов солей.

Минералы, наиболее часто встречающиеся в высолах, образуют девять минеральных групп, в которые входит разное число минералов: 1) карбонаты — кальцит; 2) водные карбонаты — термонатрит, трона, семиводный карбонат натрия; 3) сульфаты — тенардит, афтиталит, ангидрит, бассанит; 4) сульфаты с добавочными анионами — ганксит; 5) водные сульфаты — гипс, сингенит, гексагудрит, эпсомит; 6) водные сульфаты с дополнительными нитрат-анионами — дарапскит, хумберстонит; 7) водные ортосиликаты с добавочными анионами — таумасит; 8) нитраты — натриевая селитра, калиевая селитра; 9) хлориды — галит.

Химический состав минералов высолов соответствует анионно-катионному составу поровых растворов, находящихся в зоне гидрогеохимических барьеров. При рассмотрении путей миграции и источников формирования химического состава поровых растворов, с которыми связано образование высолов, важно отметить, что средой для них служат не только материалы конструкций (белый камень, кирпич, связующие растворы, штукатурка и т.д.), но и вмещающие фундаменты грунты. Само же формирование высолов происходит при взаимодействии поровых растворов с материалами конструкций, грунтами и грунтовыми водами.

Источники поступления соли в конструкции памятников довольно многообразны. Они могут поступать в результате капиллярного подсоса грунтовых вод с повышенной минерализацией, находиться в строительных материалах самого памятника, проникать в стены и фундаменты с атмосферными осадками, содержащими сернистые соединения. Как отмечается в [11,21] источником засоления кладки являются также материалы, используемые в реставрации и при ремонте памятников: известь, камень, цемент, антисептики.

Все источники соли могут быть разделены на внутренние и внешние. К внутренним относятся: анион $[CO_3]^{2-}$, поступающий в поровые растворы за счет солей свежих штукатурных и цементных растворов, анион $[SO_4]^{2-}$ поступает из солей связующего цементного раствора и растворенных солей бетона, катионы Ca^{2+} и Na^+ поступают в поровые растворы из связующего материала кладок, штукатурок и свежих цементных растворов, источником поступления катиона Mg^{2+} являются романцементные связующие растворы кладки. К внешним источникам можно отнести: анион $[NO_3]^-$, являющийся продуктом жизнедеятельности бактерий — нитрофикатов (представители родов Nitrosomonas и Nitrobakter); анион Cl^-, поступающий с примыкающих территорий, на которых для борьбы с гололедом применяются соли NaCl и KCl, катион Na^+ поступает в поровые растворы вместе с поверхностными водами и из прослоев техногенных накоплений.

В состав высолов входят минералы, образующие парагенетические ассоциации, соответствующие им ионы поровых растворов и основные источники поступления солей приведены в таблице 9.

Основным компонентом порового раствора и одновременно транспортером, доставляющим минеральные соли от места растворе-

Таблица 9

Парагенетические ассоциации минералов высолов, формирующиеся при различных источниках засоления

Руководящие минералы парагенетических ассоциаций	Преобладающие ионы поровых растворов		Основные источники солей
	анионы	катионы	
термонатрит, трона	CO_3^{2-}	Na^+	материал штукатурки и свежих цементных растворов
тенардит, сингенит, гипс	SO_4^{2-}	Na^+, Ca^{2+}, K^+	портландцементный раствор кладок, бетоны
гексагидрит, эпсомит, гипс	SO_4^{2-}	Ca^{2+}, Mg^{2+}	романцементный связующий раствор кладок
калиевая и натриевая селитры, дарапскит	SO_4^{2-} NO_3^-	Na^+, K^+	фекальные источники
галит	Cl^-	Na^+	соли, применяющиеся для борьбы с гололедом

ния до гидрогеохимических барьеров и мест кристаллизации, является вода. Выше в разделе 3.3 были рассмотрены основные причины появления и проникновения влаги в несущие конструкции памятников: это непосредственная связь грунтовых вод и верховодки, а также капиллярной оболочки с фундаментами; это перемещение влаги и ее концентрация в определенных местах за счет миграции водяного пара из области, где его упругость выше, в места более низких давлений пара; это конденсационное увлажнение каменных конструкций, когда на них при охлаждении влага выпадает в виде росы и конденсирующаяся влага впитывается в поры камня.

Так, при обследовании здания Сената Московского кремля удалось установить, что основной причиной повышения влажности в стенах цокольной части и фундаментах послужило создание паровлагонепроницаемой плиты, вплотную прилегающей к зданию, и многослойной бетонной отмостки с гидроизоляционной мембраной. Подобная изолированность атмосферы от зоны аэрации привела к нарушению ее температурно-влажностного режима, что обусловило, с одной стороны, подсос поровых вод и солей и конденсирование пара под подошвой плиты, а, с другой стороны, снижение до минимума испарения влаги из грунтов. Все это определило переувлажнение грунта под подошвой плиты до 28–30%,

миграцию влаги и солей через белокаменную кладку фундамента дворца, влажность блоков до 29%, а известкового раствора до 41%. На рис. 59 показана схема миграции влаги и солей в кладке фундамента и цоколя здания Сената Московского кремля.

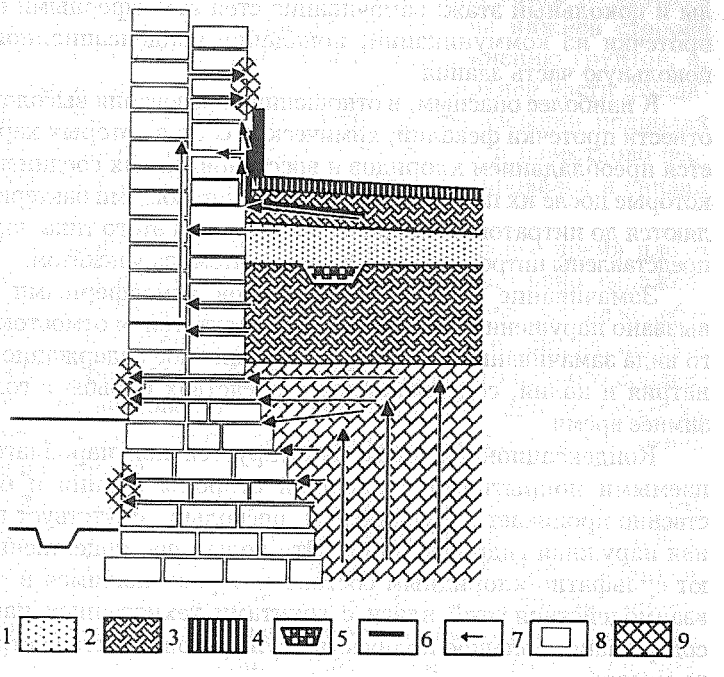


Рис. 59. Схема миграции поровых растворов и солей в грунтах, стенах и фундаментах здания Сената Московского кремля: 1 – грунты культурного слоя; 2 – песок; 3 – бетон; 4 – брусчатка; 5 – лоток с гравием; 6 – гидроизоляция; 7 – пути миграции; 8 – белокаменные блоки; 9 – зоны высолов

Столь высокая влажность кладочного раствора объясняется большим объемом порового пространства, состоящего из ультра и макро пор. Последние соединены между собой канальцами, образуя единую поровую систему в швах кладки, по которым как по "транспортным артериям" перемещается горизонтально и вверх влага, насыщенная солями. Поднявшись до уровня цокольного этажа, поровый раствор подтягивается к поверхности стены, где образуется испарительный гидрогеохимический барьер и происходит кристаллизация солей и образование высолов.

Осмотр здания Государственного Исторического музея и проведение исследований причин образования высолов на стенах, выявило несколько путей попадания влаги в несущие конструкции: протечки атмосферных осадков через внутренние дворы в подвалы и цокольный этаж; замачивание стен атмосферными осадками; протечки из коммуникаций; попадание конденсационной влаги в цокольную часть здания.

К наиболее опасным, в отношении образования высолов, следует отнести протечки фекалий, химический состав которых характеризуется преобладанием хлоридов и восстановленных соединений азота, которые после их переработки нитрифицирующими бактериями окисляются до нитратов. Минералы высолов для этого типа поровых вод представлены нитронатритом, нитрокалитом, дарапскитом.

Замачивание стен и фундаментов атмосферными осадками вызвано нарушенной планировкой и отсутствием отмосток. Для этого вида замачивания характерно повышенное содержание хлоридов натрия и калия, содержащихся в средствах борьбы с гололедом в зимнее время.

Конденсационная влага формируется под паровлагонепроницаемыми покрытиями с внешней стороны здания и беспрепятственно проникает в фундаменты, поскольку отсутствует вертикальная наружная гидроизоляция. Эти воды преимущественно обладают сульфатно-хлоридным составом, образовавшимся в результате взаимодействия этой влаги с грунтами техногенных накоплений, содержащих большое количество сульфатов в составе строительного мусора.

Результаты изучения высолов позволяют решать задачи по определению источников путей миграции, химического состава исходных растворов и обоснованно принимать проектные решения по ликвидации причин образования высолов.

В этом отношении весьма характерен пример с развитием высолов на кирпичных столбиках, подпирающих балки пола первого этажа Останкинского дворца. В течение ряда десятилетий подполье дворца имело естественный проветриваемый режим, обеспечивающий удаление испаряющейся с поверхности пола влаги. Однако, в 90-е годы XIX века пол подполья был покрыт асфальтом для , якобы, защиты деревянных конструкций от влаги, поступающей при испарении из грунтов. Наличие паронепроницаемого асфальтового покрытия по всему подполью дворца создало условия, при которых зонами разгрузки (при капиллярном подсосе и испарении) влаги из грунтов и фундаментов стали заглубленные в грунт несущие конструкции, такие как фундаменты и цоколи стен (внешних и внутренних), печей, каминов, опор колонн, несущих кирпичных столбиков пола. Невозможность испарения влаги из грунтов подполья вызвало эффект конденсации пара на нижней стороне асфальтового покрытия и привело к переувлажнению грунтов, а, следовательно, и находящейся в них кладки верхней части фундаментов. Из-за повышенной влажности грунты засыпки подполья приняли текучепластичное и текучее состояние, а известково-песчаный раствор в кладках фундаментов деструктировался и снизил прочность кладки.

Подполье дворца не прогревается и в настоящее время плохо проветривается. Конструкция подполья не обладает явно выраженными свойствами термостатирования. Многократные резкие колебания температур увлажненного воздуха атмосферы подполья, переходы ее через 0°С приводят к образованию обильного водного конденсата и слоя инея на поверхностях конструкций и способствуют их увлажнению, выветриванию, а также гниению древесины в условиях переменной влажности.

Изменившиеся условия привели к активному капиллярному переносу влаги из толщи техногенных накоплений подполья в подземные и надземные конструкции, незащищенные гидроизоляцией. Испарение влаги с их поверхности (боковая поверхность кирпичных столбиков составляет около 170 $м^2$) привело к интенсивному засолению несущих конструкций подполья в виде слоев высолов, толщиной в несколько миллиметров.

Засоление кладки обусловлено сложившейся гидрогеохимической обстановкой этой части территории города, на которую с атмосферными осадками поступает около 150 кг/га в год минеральных солей, из них серы до 13 кг/га в год, а концентрация иона Cl^- в осадках достигает 3,86 мг/л. Насыщенные этими продуктами загрязнения грунты поставляют минеральные соли в кладку вместе с капиллярным подсосом влаги.

Результаты геохимического опробования показали, что кирпичные столбики подполья, в результате капиллярного влаго- массопереноса накопили значительное количество легко- и среднерастворимых солей, степень засоления которыми кирпичной кладки по массе составляет 1,12–1,45%.

Метасоматоз в зоне активного капиллярного подсоса и испарения влаги привели к интенсивному разрушению известняков и известковых кладочных растворов. При этом, как показали петрографические и геохимические оценки, процесс разрушения карбонатов, в основном, идет по пути образования известковой, доломитовой и гипсовой муки. Геохимические анализы водных вытяжек из кирпичей, водные вытяжки и силикатный анализ корочек высолов с их боковой поверхности свидетельствуют о том, что техногенное минералообразование идет по пути формирования гидратированных солей, среди которых подавляющее содержание имеют сульфатные соединения гипса. Максимальная степень засоления проявляется на внешней поверхности кирпичей в виде корки, степень засоления которой по массе составляет 22,3%. Процесс разрушения несущих кладок в подполье, например, Египетского павильона принял такие масштабы (рис. 60), что при реставрационных работах было заменено свыше 30% кирпичных столбиков, а по остальным проведены замены отдельных фрагментов и их усиление. Для исключения причины развития процесса деструкции кладок столбиков, было решено удалить асфальтовое покрытие подполья.

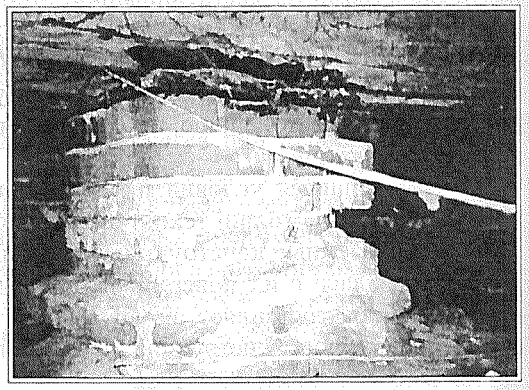


Рис. 60. Химическое выветривание столбиков в подполье Египетского павильона Останкинского дворца

Образование кристаллов солей, и прежде всего кристаллов гипса в приповерхностной кайме кирпичей, кладочных растворов и белого камня сопровождается приложением значительных нагрузок на стенки пор и трещин и приводит к осыпанию (шелушению) отторженных частиц, чешуек и значительной потере массы строительных материалов.

Продукты выветривания кладок отличаются высокой степенью засоленности, достигающей 4,5% по массе (по легко и средне растворимым солям). Присутствие значительного количества засоленных продуктов выветривания на полу подполья ухудшило геохимическую

обстановку дворца, поскольку часть подполья периодически затапливается талыми и дождевыми водами, вызывающими миграцию солей на значительные расстояния в пределах подполья.

Для того, чтобы предотвратить разрушение кладок и кладочного раствора солями или, по крайней мере, максимально его замедлить, необходимо прежде всего предельно снизить вероятность попадания влаги в фундаменты, цокольные части стен из окружающих их грунтов. Важнейшее значение при этом приобретает правильно предусмотренный комплекс мер, исключающий переувлажнение грунтов зоны аэрации. Это прежде всего правильно запроектированные и выполненные дискретные "дышащие" отмостки, продуманная во всех деталях вертикальная планировка и инсоляция примыкающей территории, полное снятие асфальта в подполье дворца.

3.6. Роль техногенных изменений геологической среды в сохранении памятников архитектуры

Геологическая среда, являющаяся основанием любого памятника архитектуры и выполняющая важнейшую роль при сохранении несущих конструкций, наиболее полно аккумулирует и истощает энергию в связи с инженерно-строительной деятельностью человека. В этом отношении ее следует рассматривать как важный геологический фактор, обуславливающий развитие многочисленных антропогенных процессов и явлений в сфере взаимодействия памятника архитектуры с геологической средой.

На рубеже последних двух столетий и особенно в последние десятилетия деятельность человека в ряде случаев стала несоизмеримой с возможностями окружающей геологической среды оказывать сопротивление воздействиям от изменений в природной обстановке. Об этом свидетельствует участившееся число проявлений морозного пучения, суффозионного выноса, оползней, провалов, геохимического техногенеза на исторических территориях.

Исторические центры старых городов и памятники архитектуры представляют сложившуюся равновесную систему между сооружениями и геологической средой, их окружающей, которая под воздействием техногенеза стала ухудшать свое состояние.

Города, где сосредоточены основные памятники архитектуры, являются "экономическим каркасом" занимаемых исторических территорий и представляют достаточную силу для их преобразования.

Известно, например, что в связи с процессами, развивающимися в результате подземной урбанизации, нарушается "зона комфорта" окружающей геологической среды. Это определяет необходимость поддержания или формирования нужного режима для геологической среды в сфере взаимодействия памятников архитектуры для их сохранения.

Реконструкция исторически сложившихся древних русских городов также оказалась связанной с сохранением надежности оснований памятников архитектуры. Более 200 лет назад М.В. Ломоносов обращал внимание строителей России на необходимость обеспечения прочности грунта "во рвах для зданий". Это связано с тем, что мелкодисперсная система грунтов оснований большинства памятников архитектуры является очень динамичной и чувствительной ко всякого рода изменениям внешней среды. Последнее определяет исключительную важность сохранения целостности городских архитектурных ансамблей, и даже целых городов (Ростов Великий, Великий Новгород, Городец, Усолье, Соликамск и др.), где незначительные изменения геологических условий могут привести к нарушению равновесия в системе "памятник — геологическая среда".

Поэтому в исторических центрах городов, в зонах регулирования застройки, широкому строительству или различным мероприятиям, способствующим резкому изменению геологической среды и способных поставить под угрозу существование памятников архитектуры, должен предшествовать детальный анализ возможных изменений инженерно-геологических условий. Воздействие человека на природу в исторических городах проявляется наиболее интенсивно. Города, особенно старые, под воздействием техногенеза становятся ареной значительных изменений природных условий. При этом следует иметь в виду, что эти изменения могут протекать с различной скоростью и отношение к ним должно складываться по-разному: как к изменениям, имеющим влияние на сохранность памятников архитектуры в данный момент времени, и как к изменениям, накапливающимся в геологической среде в скрытой форме и способным в любой момент спонтанно проявить себя.

Изменения, вносимые человеком в природную обстановку исторических территорий, становятся причиной развития целого ряда нежелательных процессов, таких как: истощение водных ресурсов городских районов, самоподтопление территорий в результате изменения баланса атмосферных осадков, изменение химического состава

поверхностных и подземных вод, изменение напряженного состояния грунтов оснований и т.п.

Анализируя основные инженерно-геологические процессы, возникающие на территории исторических центров многих древних городов, развитие которых может привести к деформациям памятников архитектуры, следует выделить: неравномерное уплотнение грунтов, гидростатическое и гравитационное сжатие и уплотнение, развитие ползучести, разрушение структуры грунтов, снижение их прочности, набухание глинистых грунтов, промерзание грунтов, поверхностный эрозионный размыв, гниение деревянных свай, разложение органического вещества и геохимические преобразования в грунтах. Вот почему к изменениям естественных условий исторических территорий архитекторы-реставраторы и проектировщики должны относиться с большим вниманием и осторожностью. Необходимо в проектах детальной планировки исторических центров старых городов предусматривать технические решения, исключающие последствия перечисленных процессов.

Следовательно, в понятие охраны исторических территорий и городских архитектурных ансамблей должна входить и охрана городских природных условий от отрицательного воздействия антропогенных изменений. Антропогенные изменения геологической среды — это изменения, внесенные деятельностью человека в окружающую геологическую среду. Около 80% всех деформаций и аварийного состояния памятников архитектуры связано с антропогенными изменениями в окружающей геологической среде.

Деятельность человека можно рассматривать как один из основных геологических факторов, а будучи вооруженным современной техникой он представляет собой большую опасность. И тогда, когда человек неразумно пользуется этой силой, природа мстит ему: она мстит и тогда, когда мудрые предупреждения остаются без внимания.

В 30-е годы, после завершения строительства Государственной библиотеки им. В. Ленина и первых станций метрополитена в пределах грунтового массива Ваганьковского холма, сложился законченный ансамбль наземных и подземных сооружений XVII–XX вв. После завершения строительства один из авторов создания национальной библиотеки В. Щуко интуитивно осознавал перенагруженность разного рода сооружениями этого, ограниченного по размерам, природного элемента. В своих записках он предупреждал больше ничего не строить в его пределах. Но его заклинание, к сожалению, не было воспринято.

Начатое в 80-е годы строительство станции метро "Боровицкая" привело к аварийному состоянию: здание библиотечной типографии (XVII в.); ц. Михаила Малеина (XVI–XVII вв.), оказавшейся под землей в результате ее частичной разборки и подсыпки Ваганьковского холма перед строительством дома Пашкова; пристройки к восточному флигелю дома, деформированного в результате прорыва грунта при сооружении котлована для кассового вестибюля станции метро "Боровицкая" (рис. 61).

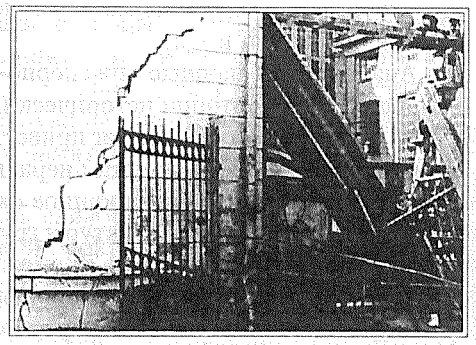


Рис. 61. Деформация флигеля дома Пашкова в результате провала грунта в котлован вестибюля станции метро "Боровицкая"

При строительстве станции метро "Боровицкая" была применена сложная схема снижения водопритоков в подземные выработки с помощью 19-ти глубоких артезианских скважин, откачивающих воду из известняков, в которых сооружались станция и перегонные тоннели. Откачка воды в течение 5,5 лет осуществлялась также из песков с глубины 15–17 м для блокирования их перетока через литологическое окно в известняки. Принятая технология водопонижения была размещена в районе улицы Волхонка и Ваганьковского переулка и привела к откачке за весь период строительства более 19,0 млн.м^3 воды, что не могло не сказаться на деформации ряда памятников архитектуры и зданий исторической застройки, оказавшихся в пределах мульды проседания не только в районе Российской библиотеки, но и в квартале между ул. Волхонка и Ваганьковским переулком.

Другая группа технологических методов была применена для сооружения наклонного эскалаторного тоннеля (диаметр 9,5 м) и котлована для кассового вестибюля (глубиной 12 м). Все эти элементы станции размещались на стесненном участке между зданием типографии, правым флигелем дома Пашкова, корпусом "А" библиотеки и зданием Ивановской картинной галереи.

На малой площади была осуществлена, с помощью ударно-канатного бурения, оградительная система для проходки кабельной траншеи вблизи здания типографии и котлована для кассового вестибюля. Процесс бурения скважин привел к появлению многочисленных крупных трещин в примыкающих зданиях, а дальнейшая разработка грунта в котловане довела их до аварийного состояния.

Оказанное техногенное воздействие (снижение уровня подземных вод) вызвало снятие гидростатического давления с толщи пород, перераспределение напряжений в массиве из-за проходки тоннелей и котлованов, сдвижение части массива в процессе строительства, что привело к деформациям ряда зданий библиотеки. Результаты инструментальных наблюдений за деформациями зданий показали, что они были приурочены к зонам максимальной концентрации и интенсивности горных работ (рис. 62).

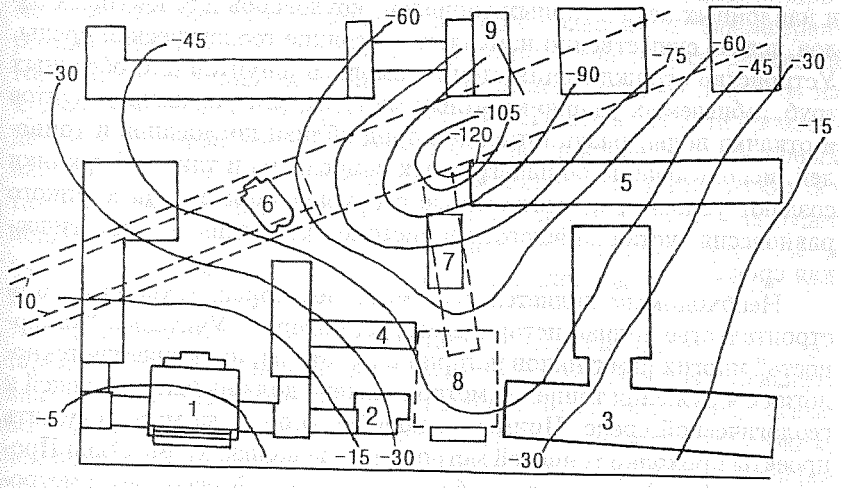


Рис. 62. Карта осадок поверхности территории Государственной Российской библиотеки. 1 – дом Пашкова; 2 – флигель; 3 – корпус "А"; 4 – здание типографии; 5 – книгохранилище; 6 – ц. Николы в старом Ваганькове; 7 – Ивановская картинная галерея; 8 – кассовый вестибюль станции "Боровицкая"; 9 – станция метро; 10 – перегонные тоннели; -45 *– изолинии осадок дневной поверхности*

Общая ширина зоны осадок дневной поверхности и зданий составила около 200 м, максимальная величина осадки — 132 мм, а максимальная скорость осадки составила 11 мм/мес.

В связи со строительством метрополитена и гидротехнических тоннелей в городах неоднократно возникали случаи серьезных деформаций памятников архитектуры. Можно привести несколько при-

меров последствий, к которым привела подземная урбанизация. Например, прокладка коллектора р. Неглинки в 60-е годы под Китай-городом привела к разрушению юго-западного угла Гостиного двора в Москве. В Санкт-Петербурге после сооружения Василеостровской линии метрополитена на участке пересечения трассы с р. Мойкой произошли значительные деформации гранитной набережной и расположенных вблизи памятников архитектуры XVIII века.

Особый риск представляет в настоящее время освоение подземного пространства городов. По-прежнему наиболее опасным видом строительства в исторических центрах городов является метрополитен. Крупномасштабные технологии проходки станционных и наклонных эскалаторных тоннелей, котлованов для кассовых залов, шахт существенно изменяют состояние геологической среды. Устройство ограждающих стен с помощью шпунтов или обсадных труб, забиваемых ударно-канатным методом, замораживание грунтов и откачка воды, разуплотнение пород вблизи котлованов и тоннелей, использование большегрузных самосвалов и тяжелой техники создают условия, несовместимые с сохранением весьма хрупкого равновесия, установившегося в системе "памятник — геологическая среда".

Необходимым является пересмотр некоторых технологий при строительстве вблизи исторических территорий. Учитывая "камерность" многих памятников истории и культуры, применяемая технология сооружения тоннелей метрополитена должна быть щадящей к геологической среде. Примером подобного подхода могут служить проекты проходки тоннелей метрополитена вблизи храма Ильи Пророка в районе Черкизова и кабельного тоннеля Московского метрополитена под зданием МГУ на Моховой улице, разработанные в разные годы институтом "Метрогипротранс".

К сожалению, подобные подходы чаще составляют исключения, чем правило. Примеры строительства станции метро "Боровицкая" в Москве и участка трассы метро в Минске в районе Верхнего города свидетельствуют о пренебрежении к условиям совместимости современных технологий и сохранности архитектурного наследия. В частности, при строительстве перегонных туннелей и станции "Немига" в г. Минске были допущены серьезные отклонения от принятой технологии, и без того весьма рискованной по отношению к расположенным в непосредственной близости памятникам архитектуры. Угроза нависла над мужским Бернардинским монастырем, кафедральным собором и домом, в котором жил С. Монюшко, а в зданиях уникального памятника архитектуры эпохи Возрождения — Базилианского монастыря образовались крупные трещины, с раскрытием до 10–15 см.

Очень важно оценивать влияние антропогенных явлений на формирование гидрогеологических условий исторических территорий, поскольку водный режим является одним из самых динамичных в геологической среде. При этом подземные воды должны рассматриваться и как объект защиты и как среда, изменение которой влияет на сохранность исторических территорий и памятников.

Сохранение памятников архитектуры и целых городских ансамблей зависит от стабильности гидрогеологических условий. Например, для Великого Новгорода это во многом зависит от "законсервированности" первого водоносного горизонта, поскольку современный город и многие новгородские памятники архитектуры покоятся на культурном слое, сформированном в IX–XIV веках. И если произойдет резкое понижение уровня грунтовых вод в пределах культурных накоплений, которые содержат большое количество органических остатков, то в результате их окисления вся территория города будет испытывать неравномерное уплотнение грунтов культурного слоя, и очень многие памятники могут оказаться в сложных инженерно-геологических условиях.

Необходимо при реконструкции и составлении проектов детальной планировки исторических центров старых городов, имеющих, как правило, слабые грунты основания, учитывать все возможные последствия. Появление грунтовых вод на отметках более высоких, чем предусмотрено в проекте, приводит к нарушению нормальной работы оснований. Особенно опасно, если при этом происходит повышение влажности пылеватых грунтов и изменение химического состава в сторону повышения их агрессивности.

Изучение явления подъема грунтовых вод показало, что оно может быть вызвано двумя обстоятельствами: во-первых, плохим качеством проведенных ранее строительных работ (нарушение вертикальной планировки исторических территорий, оставление на длительный срок незакрытых котлованов, скопление строительного мусора, утечка воды и т.п.). Во-вторых, причинами, связанными с изменением естественных условий площадок и нарушением структуры напластований, вызываемыми их перерезкой подземными коммуникациями, уменьшением поверхности испарения из-за асфальтирования и т.п.

Примером может служить здание Государственного Исторического музея в Москве. Это здание XIX века, вблизи которого со всех сторон примыкающая территория покрыта асфальтом, что резко изменило условия естественного испарения грунтовых вод. Поэтому сейчас подвалы этого здания являются фильтром, через который проходит влага при испарении грунтовых вод, что привело к резкому переувлажнению не только подвалов, но и фасада и стен здания.

В настоящее время вопросам изменения влажности грунтов оснований в результате нарушения естественных гидрогеологических условий территорий , примыкающих к памятникам архитектуры, должно уделяться значительное внимание.

Повышение уровня грунтовых вод может происходить по следующим причинам:

1. Нарушение установившегося веками баланса между количеством осадков и испарением в результате сокращения площадей испарения и изменения естественного рельефа местности.
2. Утечки воды, которые происходят из сети канализации и водоснабжения. Эти утечки в крупных городах достигают огромных значений.

В качестве примера можно привести деформации Успенского собора в г. Дмитрове, рассмотренные ниже (4.6).

В последние годы архитекторы в своих проектах прибегают к "реконструированию" дневной поверхности XVII–XVIII веков. В целом ряде случает это оправдано, но делать вертикальную планировку надо весьма осторожно, предварительно выяснив глубину заложения фундаментов от дневной поверхности последних лет, грунтовых вод, тип грунта и его естественную влажность. Без учета этого вертикальная планировка может привести к нежелательным последствиям. Примером могут служить палаты XVII века в г. Калуге (палаты Коробовых). Несколько лет назад были проложены рядом с палатами тротуары, для чего предварительно на прилегающей территории сняли 0,5 м грунта. Одновременно увеличилась глубина сезонного промерзания, что привело к морозному пучению грунта, и впервые за почти трехсотлетнее существование палат по углам дома появились трещины.

В ряде случаев, порой даже незначительные изменения, привносимые в приповерхностную инфраструктуру без учета возможных последствий, приносят памятникам значительный урон. При этом пугает

элементарная непродуманность принимаемых решений, часто несогласуемых с эксплуатационным режимом территории памятника.

Наглядной иллюстрацией к сказанному служит пример со Смоленской церковью в г. Угличе. С 1700 г. несущие конструкции храма сохраняли свое достаточно хорошее состояние. И только в последнее десятилетие после проложения асфальтовой тропы, создавшей бессточную зону с востока от памятника, образовалась сводчатая трещина (рис. 63).



Рис. 63. Трещина в апсиде Смоленской церкви г. Углича

Необследованность храма не позволяет однозначно определить механизм образования трещины — либо она образовалась в результате морозного разрушения фундамента, либо после обводнения стаканов от сгнивших деревянных свай. Но во всех случаях единственной причиной образования сводчатой трещины послужило создание бессточной территории, примыкающей к храму с востока.

Значительные изменения состояния грунтов вызывают гидродинамические напоры из-за утечек воды из водопроводных сетей и водохранилищ, из-за изменения уклонов грунтовых потоков и т.д. К этим нежелательным процессам относится суффозия, подземный эрозионный размыв и др.

В результате таких процессов происходят довольно значительные изменения состояния основания, что приводит к деформации памятников архитектуры. В качестве примера можно привести разрушение стены Андреевского монастыря в Москве на Воробьевых горах. Утечка воды из водопровода в течение 2–3 лет привела к размыву основания этого памятника и появлению трещин в стене [16].

Наконец, изменения, вызванные динамическими нагрузками, которые наблюдаются в связи с широким развитием в исторических центрах древних городов транспортных магистралей. Они формируют систему линейных источников вибрации, практически постоянного

действия, и проходящих, как правило, вблизи мест размещения памятников архитектуры и исторической застройки.

Источниками вибрации, создающими механические колебания частиц грунта, служат строительные машины ударно-вибрационного действия, автомобильный (особенно при плохом качестве дорожного покрытия) железнодорожный, трамвайный транспорт и метрополитен. Последствия вибрационного воздействия сказываются на дополнительных осадках уплотненных грунтов, значительных осадках разуплотненных грунтов, появление осадочных трещин в стенах памятников, разрывных деформаций сводчатых конструкций и появление кренов башен и колоколен.

Для многих памятников русской архитектуры вибрационные воздействия коснулись через несколько десятилетий и даже столетий после их сооружения и являются сравнительно молодыми источниками возмущений. Но с другой стороны, к моменту появления динамических нагрузок уже в значительной мере были деструктированы органические включения в техногенных грунтах и частично или полностью сгнили деревянные сваи и основания памятников оказались в состоянии, очень чувствительными к вибрации.

Наиболее восприимчивыми к вибрации оказались разуплотненные дисперсные грунты, в которых возможны необратимые деформации, связанные с их уплотнением, и грунты в стенках "стаканов" от сгнивших деревянных свай. В том и другом случае объемные изменения в грунтах оснований, связанные с появлением сдвиговых деформаций и разрушением структурных связей грунтов, приводят к деформации несущих конструкций памятников архитектуры. Вероятность сдвиговых деформаций и разрушение структурных связей грунтов при вибрационных нагрузках увеличивается при повышении влажности грунтов и подтоплении исторических территорий. Опасность для сохранения памятников архитектуры представляют вибрации от движения наземного рельсового транспорта с уровнем вибрации от 75 до 135 дБ, которое распространяется в приповерхностной зоне мощностью 10–15 м, где размещены фундаменты всех памятников архитектуры, и от метрополитена с уровнем вибрации от 60 до 90 дБ, которое оказывает свое влияние на фундаменты и грунты по вертикали с глубины 60–80 м.

Вибрационные воздействия оказывают наибольшее влияние в непосредственной близости от источника возмущения. Обычно это

первые десятки метров: для наземного рельсового транспорта – 30–40 м, для подземного – 15–30 м [24].

С этими проблемами в 80-е годы столкнулись строители московского метрополитена при проходке перегонных тоннелей, прокладываемых в 40 метрах от храма Ильи Пророка в Черкизове. Тоннели сооружались открытым способом в толще обводненных аллювиальных песков и верхнечетвертичных супесей мощностью 9,0 м. В результате дополнительных геологических исследований и обследования фундаментов храма в проект производства работ были внесены необходимые коррективы. Они включали: утяжеление конструкции за счет заполнения бетоном пазух между стеной в грунте и обделкой на участке вблизи храма, использование щебенки и гравия для устройства балластного слоя верхнего строения пути, использования для виброизоляции резиновых амортизаторов, снижения скорости движения поездов на участке длиной 75 м. Использованные рекомендации позволили полностью исключить влияние вибрации на сохранность памятника архитектуры.

Рассмотренные в этой главе случаи показывают, что прежде всего надо стремиться к исключению влияния нежелательных антропогенных факторов, снижающих несущую способность грунтов в сфере взаимодействия памятника архитектуры. Если это соответствие нарушается, необходимо прибегать к искусственным мероприятиям по укреплению грунтов оснований памятников, дренированию территорий, их планировке и т.п.

"Найти причину зла — почти то же, что найти против него лекарство"

В. Белинский

"Интуиция — это способность человека дорисовывать в своем воображении целое, прежде чем установлены и исследованы все его части, способность на основе нескольких фактов и данных экспериментов воссоздать в воображении всю целостную теоретическую систему. Причем воссоздать не произвольно, а по определенным законам, выражающим внутреннюю сущность этого целого, его природу, его гармонию, его красоту"

Генрих Волков

Глава 4

Диагностика деформирования памятников архитектуры

4.1. Общие замечания

Важнейшим в процессе реставрации памятников архитектуры является этап осуществления натурных исследований с целью получения надежной оценки сложившегося со временем технического состояния и сниженных эксплуатационных качеств несущих элементов памятника, т.е. проведение диагностических наблюдений за повреждениями памятников и снижением несущей способности и свойств грунтов и их деструкцией.

Диагностика повреждений памятников архитектуры требует достаточно полных и комплексных знаний по оценке и анализу технического состояния конструкций с учетом реальных условий их совместной работы с основанием. Это положение в диагностике деформирования памятников архитектуры является основным, поскольку оно связано с исследованием причин "заболевания" памятника. При проведении этих исследований должны учитываться свойства материалов во взаимодействии с агрессивной капиллярной и атмосферной влагой и знакопеременными температурами, условия совместной работы конструкций при возникновении деформаций грунтов основания, испытывающих дефицит несущей способности от внешних механических и физико-химических воздействий и характера эксплуатации здания памятника.

Авторы некоторых методических пособий трактуют диагностику деформаций в несколько усеченном, одностороннем виде. Например, в работе [36] диагностирование деформаций рассматривается в неполном выражении, отражающим лишь оценку работы конструкций. Поэтому для правильного и объективного понимания состояния памятника и определения способа укрепления следует рассматривать его деформации в рамках системного подхода, выявляя элементы всей цепи разрушающих факторов и причин.

У диагностики должен быть свой объект исследования и свой метод. Поскольку памятники архитектуры являют собой реальную природно-техническую систему, в отличии от идеальных систем, существующих на бумаге или в воображении и состоящую из двух подсистем, то с самого начала постройки сооружения становится очевидным, что диагностические задачи, цели и методы исследования каждой из подсистем должны быть разными, но объединенными, благодаря их структурной общности, как одна система. Поэтому для памятников архитектуры следует различать техническую и инженерно-геологическую диагностику.

Подобное разделение видов диагностики позволит более четко выявить причинно-следственные связи при расшифровывании видимых деформаций несущих конструкций и, во-вторых, дифференциальный подход повысит профессиональный уровень диагностирования.

Из сказанного выше диагностику деформаций памятников архитектуры можно определить как научную отрасль, изучающую и определяющую признаки деструкции элементов реальных природно-технических систем "памятник — геологическая среда", а также устанавливающую принципы и методы, на основе которых выдается заключение о причинах и характере деформации памятника архитектуры как элемента системы и предназначающую выбор адекватных способов укрепления.

Диагностика предполагает свое развитие и совершенствование в связи с развитием общей методики реставрации памятников архитектуры и вовлечением в практику реставрационных работ ряда смежных дисциплин.

Диагностика, как отрасль знаний о причинах деформаций памятников, включает три раздела:

1) методика сбора, изучения признаков деформаций несущих конструкций памятников и методы их исследования;

2) паспортизация признаков деформаций на основе выявленных и атрибутированных причинно-следственных связей;
3) методика диагноза, включающая методику оценки полученной информации при обследовании системы "памятник — геологическая среда", после чего устанавливается диагноз.

Внедрение в практику реставрационных работ комплексных методов диагностики позволит проводить планомерное и целенаправленное обследование технического состояния памятников и изучение обстоятельств, снижающих несущую способность оснований, записывать их результаты в единой, общей для всех форме, избегать ошибок при проектировании реставрационных работ, объективно оценивать качество реставрационных работ, контролировать состояние памятников архитектуры в процессе эксплуатации и оперативно принимать меры по устранению негативных процессов и выявленных нарушений в структуре их оснований.

Конечной целью диагностики является составление обоснованного заключения о техническом состоянии отдельных конструкций, фундаментов, грунтов основания или всего памятника в целом как исторической природно-технической системы, о его эксплуатационной пригодности и выборе методов и средств выведения системы "памятник — геологическая" среда из сложившегося состояния.

4.2. Задачи технической диагностики памятников

Проведение диагностирования памятников архитектуры позволяет на основании собранной по определенной методике информации изучить признаки деформирования конструкций здания памятника, установить главные причины и степень риска, выдать обоснованные рекомендации по реставрации памятника и инженерной защите исторической территории, примыкающей к нему, от опасных геологических процессов.

При проведении реставрационных работ на памятниках в последние годы сложился стандартный перечень вопросов, требующих надежных решений:

- причины увлажнения несущих конструкций;
- причины появления трещин в конструкциях памятника;
- с помощью каких мер можно устранить эти дефекты;
- какими техническими средствами стабилизировать неравномерные осадки;

- можно ли увеличить нагрузки на несущие конструкции без усиления фундаментов.

Ответы на подобные вопросы должны давать специалисты, владеющие знаниями по технической диагностике зданий памятников архитектуры.

Диагностика памятников архитектуры проводится в следующих случаях:

1) для периодического профилактического осмотра;
2) перед началом проведения реставрационных работ;
3) для решения специальных вопросов, возникающих в процессе реставрации памятника или при создании аварийной обстановки.

В результате визуального осмотра с последующим детальным обследованием памятника составляется техническое заключение, которое является основным документом при разработке технического проекта реставрации и служит средством для оценки качества эксплуатации памятника и изменения состояния его во времени.

Для всесторонней оценки состояния памятника архитектуры необходимо располагать достаточным числом параметров для контроля за его техническим состоянием. Число параметров должно быть таким, чтобы трудоемкость диагностики была минимальной, а информация о состоянии конструкций памятника и окружающей среды достаточно полной. Такие параметры, называемые прогнозирующими, информируют о состоянии элементов системы "памятник — геологическая среда" и возможном ее изменении. Поступающая информация в процессе исследования технического состояния памятника дает возможность по этим параметрам оценивать состояние элементов системы.

Если установлена зависимость между изменением наблюдаемого параметра и состоянием природного или конструктивного элемента системы "памятник — геологическая среда", то периодически измеряя с помощью приборов или наблюдений уровень и состояние параметров, можно определить необходимость принятия инженерных решений при достижении этими параметрами предельных пороговых значений. Эффективность принимаемых решений зависит от того, насколько правильно определены методы наблюдений и выявлены прогнозирующие параметры и их пороговые значения. Для этого необходимо изучение физической сущности наблюдаемых процессов и явлений и изменений параметров и структуры элементов системы "памятник — геологическая среда".

Эксплуатационную пригодность любых памятников архитектуры оценивают параметрами, которые можно объединить в две группы [28]:

- первая группа — параметры, характеризующие конструктивную надежность и физическую долговечность при воздействии физико-химических факторов: прочность, устойчивость, влаго- и морозостойкость конструкций, допустимые деформации, гидроизоляция. Параметры инженерно-геологических факторов: подтопление и осушение территории, термическое изменение грунтов, выветривание грунтов основания и т.п.;
- вторая группа — параметры, характеризующие функциональное соответствие назначению — моральную долговечность памятника — условия приспособления и дальнейшего его использования (площадь и кубатура, тепло-влажностный режим, герметичность, влажность конструкций и др.).

Конкретный перечень параметров при диагностике памятников устанавливается в зависимости от сохранности материалов конструкций, конструктивной схемы здания памятника архитектуры, влияющих факторов внешней среды и других факторов. После установления перечня параметров важно установить их фактическое значение и отклонения от нормы.

Эффективная эксплуатация и уход за памятниками архитектуры возможны только при своевременной диагностике их повреждений, для чего они должны подвергаться периодическим осмотрам.

Необходимость и частота обследований (общих, частичных) для зданий памятников должна определяться системой предупредительных ремонтов, которая предусматривает виды и частоту осмотра зданий в зависимости от вида предстоящего ремонта.

В 1948 г. было установлено, что капитальный ремонт или восстановление и обследование памятников архитектуры должны производиться не менее 1 раза в 5 лет. Фактически, в настоящее время это единственный официальный документ, в котором говорится о сроках проведения общих профилактических осмотров памятников архитектуры, но его требования не соблюдаются.

Таким образом, при проведении исследований и организации службы контроля за состоянием памятников архитектуры необходимо в настоящее время принять уже имеющиеся и одновременно разрабатывать научно обоснованные рекомендации и нормативы

по периодичности обследования здания, его элементов и конструкций [38].

В работах [37,38] предложена форма записи результатов осмотра для описания технического состояния памятника при передаче его в пользование и составлении в связи с этим акта технического осмотра.

Для работ по техническому обследованию памятников архитектуры принят следующий порядок:

- получение исходных данных от заказчика или архитектора-реставратора;
- общее предварительное обследование памятника архитектуры;
- детальное обследование здания памятника;
- камеральная обработка;
- составление технического заключения.

Исходные данные включают получение технического задания на работы, получение архивных материалов, выявление целевого назначения обследования, рассмотрение рекомендаций органов охраны и использования памятников архитектуры.

При детальном обследовании уточняются конструкции памятника, состояние строительных материалов. В соответствии с требованиями визуально-инструментальной диагностики проводят вскрытия, анализируют отобранные пробы, проверяют деформации и состояние материалов, входящих в памятник, с помощью приборов и инструментов, выполняются проверочные расчеты.

В инструментальных методах в настоящее время все более широко применяются неразрушающие способы исследования материалов и конструкций. Они позволяют многократно повторять измерения, сравнительно быстро и точно давать необходимую информацию о состоянии многих конструкций исследуемого памятника в любое время, исследовать свойства материалов, напряженное состояние для изучения работоспособности конструкций, влияния на них различных факторов (давление, неравномерные осадки, температура, влажность и т.п.). С их помощью можно получать следующие сведения[45]:

- основные характеристики грунтов оснований, фундаментов;
- прочностные характеристики материалов несущих конструкций;
- упругие характеристики материалов;
- однородность конструкций;
- дефектность конструкций (наличие и зона распространения видимых и скрытых дефектов).

При обследовании зданий памятников бывает необходимо дать оценку состояния конструкций или сопряжений на удалении (место опоры балки на колонны или стены, характер трещин на перекрытии в высоких помещениях и т.п.). Решить эти задачи можно с помощью,например, оптического прибора РВП-451. Прибор состоит из металлических составных трубок, в которые вмонтирована система оптических стекол и дает возможность осмотреть с линейным или угловым полем зрения поверхность конструкции, расположенной на расстоянии до 7,5 м [22].

Для определения таких деформаций как изгиб (определение стрелы прогиба), продольная деформация, т.е. изменение длины отдельных участков исследуемого объекта, проявление крена применяют фотограмметрический метод. Этот метод может быть использован как для определения относительных деформаций, под которыми понимаются смещение одних точек объекта относительно других, так и для измерения абсолютных деформаций, т.е. смещения точек объекта относительно неподвижной системы координат.

Физико-технические свойства при этом определяются по тарировочным графикам. Опыт показал, что точность измерения параметров большинства неразрушающих методов (10–25%) вполне достаточна для практических целей [45]. Поэтому необходимо дальнейшее усовершенствование таких методов и средств, обучение инженерно-технических работников правильному их применению в ходе реставрационных работ при приемке и в процессе эксплуатации.

Детальное обследование с применением сложных технических средств отнимает много времени и обходится дорого. Отсюда, необходимость в нем должна быть достаточно обоснована при первичном визуальном осмотре, качество и достоверность которого целиком зависит от квалификации инженерно-технических работников и в первую очередь от инженеров-геологов, устанавливающих основные причины деформации памятников архитектуры.

Основным документом при разработке конструктивной части эскизного или технического проекта должно являться "заключение о техническом состоянии" памятника архитектуры, которое необходимо составлять для всех памятников архитектуры до начала основных реставрационных работ. Заключение составляется после детального обследования, в котором приводятся рекомендации по выведению памятника из аварийного состояния и по исследованию наиболее благоприятного эксплуатационного режима.

4.3. Сущность и задачи инженерно-геологической диагностики памятников

С целью повышения ресурсов несущей способности грунтов, исключения субъективного подхода при выборе объема и методов исследования, оценки состояния сферы взаимодействия, разработки наиболее щадящей технологии стабилизации и нейтрализации негативных процессов в ее пределах, необходим обоснованный метод определения возникших деформаций и деструкций в несущих элементах памятника. Таким методом является инженерно-геологическая диагностика, цель которой заключается в выявлении из многообразия процессов, протекающих в сфере взаимодействия геологической среды с памятником, тех из них, которые в первую очередь вызывают развитие деформаций, в прослеживании цепочки развития опасных экзогенных процессов, их парагенез, инертность или, наоборот, их реактивность и т.п.

Совершенствование инженерно-геологического диагноза деформирования памятников, позволит найти объяснение тем проявлениям деформаций, причина которых связана с развивающимися в грунтах оснований памятников процессами и явлениями. Подобный подход, помимо выявления причин, позволяет выйти на принятие адекватных мер по предотвращению развития деформаций. При этом, чем надежнее будут выявлены причины деструкции памятника, тем более действенные меры могут быть найдены для его защиты.

Оценка состояния элементов ПТС "памятник – геологическая среда" должна ограничиваться минимально необходимым числом параметров, которое наиболее определенно отражает взаимосвязь причины и следствия при деформации памятника.

Следовательно, инженерно-геологическая диагностика должна базироваться на знаниях в области инженерной геологии, гидрогеологии, экзогеодинамики, механики грунтов, строительной механики и умении их использовать для объективной оценки состояния природно-технической системы "памятник — геологическая среда" в совместном определении причин нарушения ее структуры. Подобное диагностирование приобретает особое значение, поскольку в этой области деятельности полностью отсутствует методическая и нормативная база.

Инженерно-геологическая диагностика как метод распознавания и определения характера и причины разрушения структурообразую-

щих элементов природно-технической системы "памятник — геологическая среда" применяется после обнаружения, чаще всего визуального, наиболее характерных и типичных деформаций. После установления и изучения признаков, характеризующих состояние памятника, разрабатывается сценарий возможных отклонений или дальнейшего развития деформаций с целью их своевременного предотвращения.

Обе взаимосвязанные подсистемы (подсистема "памятник" и подсистема "геологическая среда") начинали свое существование с момента возведения сооружения — здания памятника, ставшего техническим элементом исторической природно-технической системы "памятник — геологическая среда" (рис. 64).

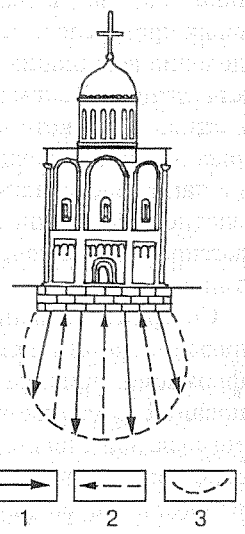


Рис. 64. Сфера взаимодействия памятника с геологической средой. 1 – прямые связи; 2 – обратные связи; 3 – граница сферы взаимодействия

Однако, в сфере взаимодействия, как части геологической среды, задолго до создания сооружения уже развивались геологические процессы. И многие деформации, которые со временем начали развиваться в конструкциях памятника, явились результатом этих, протекавших ранее и продолжающихся ныне, процессов в геологической среде. Они только обострились после вступления памятника в "неравный брак" с геологической средой (обратная связь). Таким образом, пораженная техногенными "недугами", сфера взаимодействия памятника с геологической средой нередко нуждается в усилении.

За период "сосуществования" в конструкциях памятника развивались деформации двух видов. Первый, наиболее опасный вид деформаций, связан с откликом на изменения в структуре основания после проявления различных процессов в сфере взаимодействия; второй вид деформаций связан с медленными процессами разрушения субстрата кладки несущих конструкций (фундаментов, цоколей, стен, сводов) под действием факторов внешней среды как-то: знакопеременные колебания температуры, атмосферные осадки, химические и биологические поражения и влияние грунтовых вод (капиллярная, конденсационная влага).

Обследование начинают с предварительного ознакомления со зданием и составления после этого программы детального инженерно-геологического обследования фундаментов и основания памятника. При этом выявляют общую конструктивную схему памятника, планировку примыкающей территории, состояние отмостки, видимые трещины, дефекты кладки и повреждения конструкций, отклонения от геометрических размеров оконных и дверных проемов и т.п. Особое внимание необходимо уделять обследованию наружных и внутренних конструкций фундаментов, стен, сводов, перекрытий, изучению инженерно-геологических процессов и состояния грунтов оснований. По внешнему осмотру определяют места размещения разведочных выработок, вскрытий, шурфов и точек зондирования геофизическими методами.

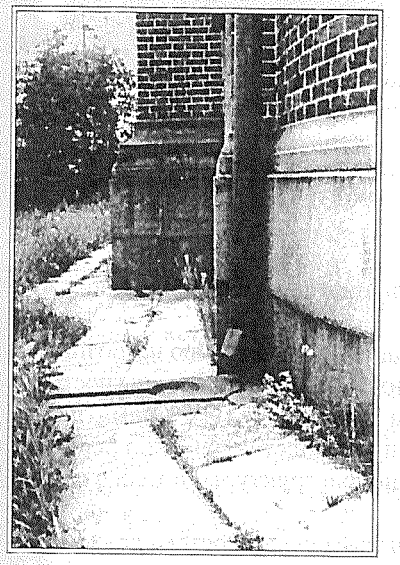


Рис. 65. Состояние отмостки и лотка у скита во имя Всех Святых Валаамского монастыря

При обследовании необходимо обращать внимание на состояние территории охранной зоны, на нарушения вертикальной планировки, характер склонов, организацию отвода поверхностных вод, сохранность отмосток и лотков (рис. 65), на необходимость дренирования грунтовых вод, обязательно отмечать положение обследуемого памятника архитектуры в сочетании с соседними постройками, транспортными магистралями, строительными котлованами и древесной растительностью (рис. 66).

При этом делаются необходимые обмеры, зарисовки, фотографии, используются простейшие приборы.

Инженерно-геологическая диагностика должна включать целенаправленную и широкую программу исследований, предназначенных для адекватного отражения состояния сферы взаимодействия при обосновании технических решений по стабилизации природно-техничес-

кой системы. В программе исследований главное место должно занимать решение следующих задач:

- сбор и анализ историко-архивных материалов, свидетельствующих о ретроспективных деформациях памятника, ремонтно-восстановительных работах;
- проведение деформационной съемки (трещинная съемка, определение кренов, выявление обрушений и вывалов кладки и т.п.);
- выполнение специальных инженерно-геологических работ с целью получения материалов для диагностики причин деформаций несущих конструкций памятника;
- проведение специальных изысканий для разработки проекта вертикальной планировки территории, примыкающей к памятнику;
- проведение специальных исследований для проектирования дренажных сооружений;
- разработка конкретных рекомендаций по выведению памятника из аварийного состояния, базирующихся на материалах диагностики;
- разработка способов слежения за состоянием ПТС "памятник — геологическая среда" в процессе производства работ по реставрации памятника и поверхностной инфраструктуры, а также в период его эксплуатации.

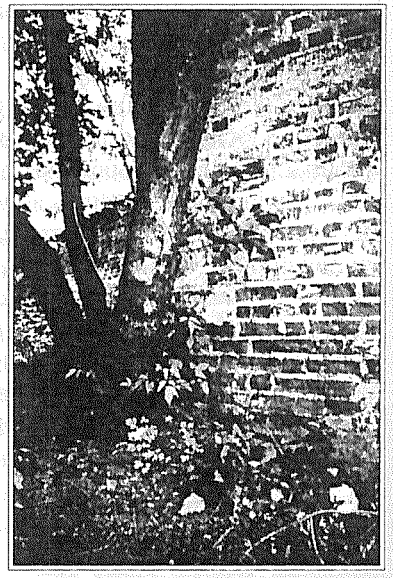


Рис. 66. Разрушение кладки памятника от подсоса влаги корневой системой близко растущих деревьев

Таким образом, инженерно-геологическая диагностика должна осуществляться с опережением всех возможных событий, связанных с природной составляющей исторических систем и угрожающих их сохранению. Она по своей сути является упреждающей операцией при необходимости поддержания работоспособности несущих элементов системы "памятник – геологическая среда".

4.4. Методы и средства диагностики памятников архитектуры

Выбор методов и средств диагностики элементов системы "памятник — среда" зависит от результатов визуальной оценки состояния памятника архитектуры и предварительного суждения о причинах его деформирования. Выделяются два подхода в изучении технического состояния памятников архитектуры. Первый основан на изучении инженерно-геологических причин деформаций, второй — на исследовании технического состояния конструктивных элементов памятника архитектуры.

В задачу изучения инженерно-геологических причин деформаций памятников архитектуры необходимо включать следующие вопросы:

1. Изучение состояния грунтов основания памятников архитектуры и выявление наиболее рациональных методов предотвращения дальнейшего развития деформаций в несущих конструкциях.
2. Выявление основных причин, инженерно-геологических процессов и явлений, обуславливающих разрушение конструкций памятников архитектуры, установление основных этапов развития деформаций памятников в прошлом, деструкции исторических территорий.

После сооружения памятник начинает провоцировать развитие обратной связи, создавая внутреннюю системную организацию инженерно-геологических процессов. Проявление обратной связи приводит несущие конструкции памятника к необходимости адаптироваться к новым условиям. Поэтому к диагностированию памятников приходится прибегать после того, как они неоднократно приспосабливались к изменявшимся в прошлом условиям. В связи с этим, логика организации инженерно-геологических исследований, как части инженерно-геологической диагностики, ставит один из основных методологических вопросов — вопрос об исходном или начальном пункте инженерно-геологических исследований. Это обусловлено тем, что подобные исследования нельзя отнести к обычным условиям проведения стандартных инженерно-геологических изысканий для создания идеальных (бумажных) природно-технических систем.

Иногда выпадает сталкиваться с попытками изучения геологической среды в пределах исторических территорий подобно тому, как это делается на стадии рабочей документации при проектировании

какого-нибудь сооружения: строятся разнообразные карты, разрезы, приводится полный набор физических и физико-механических показателей и т.п. и все это в конечном итоге остается невостребованным. К изучению "истории болезни" памятника это не имеет никакого отношения. Примером, когда геологический разрез неспособен дать никакой оценки причинам деформирования памятника может служить разрез, на котором показаны "геологические напластования грунта под памятниками архитектуры Тоице-Сергиевой Лавры" [20], где приведена ненужная для целей диагностирования информация на глубину до 40 м, а необходимые сведения, в которых есть острая необходимость для оценки состояния исторической системы "памятник – геологическая среда", полностью отсутствуют.

Инженерно-геологические исследования должны иметь обоснованную целесообразность и целенаправленность, исключающие все лишнее и ненужное. Программа подобных исследований должна исходить прежде всего из того, что мы имеем дело с реальными историческими системами, просуществовавшими не одно столетие, структура которых подверглась значительным эволюционным преобразованиям.

Для достижения указанных выше целей при диагностике памятников архитектуры решаются следующие задачи: сбор и оценка ретроспективной инженерно-геологической информации на территории памятника и на примыкающей к памятнику территории; выявление изменений инженерно-геологических и гидрогеологических условий в сфере взаимодействия памятника; построение дефектных ведомостей о состоянии материала кладки, с указанием трещин в стенах, фундаментах, сводах и перекрытиях, наличие кренов, мест появления высолов, нитрификаторов; определение инженерно-геологических причин деформирования памятника архитектуры; получение материалов, необходимых при составлении проекта реставрации памятника и для устранения в дальнейшем нежелательных инженерно-геологических процессов.

Инженерно-геологические исследования должны быть направлены на получение такой информации, которая могла бы способствовать разработке мер по ликвидации причин, приводящих к развитию деформации памятников. Опыт показывает, что порой для стабилизации системы "памятник – геологическая среда" этого бывает достаточно.

К числу необходимых материалов относятся данные о результатах целенаправленных инженерно-геологических исследований;

данные освидетельствования конструктивных особенностей памятника, типов фундаментов и о распределении нагрузок на грунты оснований; данные о характере деформаций и скорости их развития; материалы наблюдений за осадкой памятника или его элементов.

Инженерно-геологические исследования для изучения причин деформаций памятников архитектуры проводятся на основании технического заключения, составляемого экспертной комиссией, возглавляемой органами охраны памятников архитектуры, или проектной организацией, являющейся заказчиком этих работ.

Обязательным при изучении инженерно-геологических причин деформации памятников является обследование технического состояния памятника, анализ наблюдений за осадками и деформациями основных конструкций [32].

В комплекс исследования условий деформирования памятника входят: периодическое нивелирование горизонтальности цокольной части памятника, карнизов, аркатурных поясов и т.д.; организация контрольных замеров с помощью маяков и щелемеров за развитием трещин; совместные наблюдения за осадкой и развитием трещин.

Примером комплексных инженерно-геологических исследований могут служить проведенные в рамках этих работ инженерно-геодезические и термометрические наблюдения за динамикой деформаций здания Останкинского дворца.

Для проведения работ по контуру здания, в его интерьерах и подполье была размещена сеть термометрических скважин и осадочных марок (рис. 67). После этого были начаты регулярные измерения температуры и инженерно-геодезические наблюдения, вошедшие в структуру мониторинга.

Размещенная сеть термометрических наблюдений включала 11 скважин, пробуренных непосредственно у стен дворца, в 2,5–10,0 м от него, в теле фундаментов и подполье. Их глубина составляла 0,8–0,9 м в теле фундамента и 1,2–1,4 м на территории дворца.

Изменения температуры проводились переносным электротермометром конструкции ПНИИИС Минстроя РФ. В качестве термодатчиков использовались термометры сопротивления ЭЧМ-070 100М. Электротермометры определяли температуру с точностью до 0,1°С. На рис. 67 приведены результаты режимных наблюдений за температурой грунтов и фундаментов и за изменениями во времени границы нулевой изотермы.

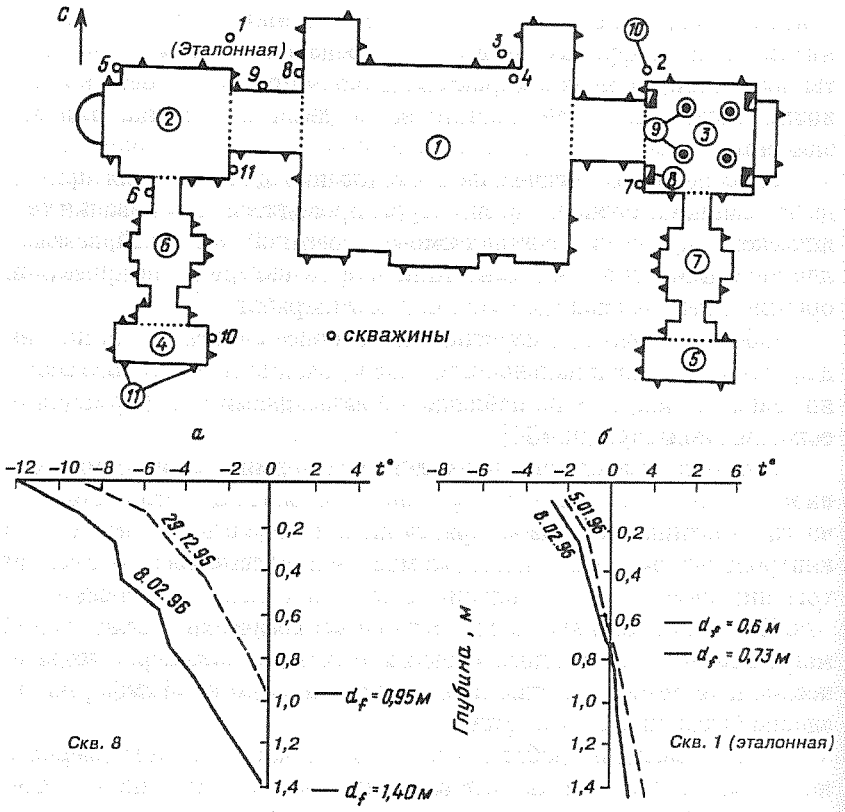


Рис. 67. Схема размещения термометрических скважин, осадочных марок и результаты режимных наблюдений за температурой грунтов и фундаментов: а – на контакте с фундаментами; б – по эталонной скважине: 1–7 – залы дворца; 8 – печи; 9–10 – термометрические скважины; 11 – осадочные марки

Инструментальные наблюдения, которые выполнялись по программе нивелирования II класса, обеспечили получение результатов интенсивности и характера вертикальных перемещений элементов дворца. Соответствие полученных результатов материалам термометрических наблюдений позволило выявить основные причины, приведшие к развитию деформаций дворца. В частности, удалось установить влияние теплопроводности материала фундамента на величину промерзания грунтов и масштаба морозного пучения.

Целесообразно наблюдение за осадкой проводить на всех этапах реставрационных работ (подготовительный, производство инженерных работ, реставрационные работы) до окончательной их стабилизации. По результатам нивелирования делается вывод о масштабе осадок, их динамике в связи с действием различных факторов.

Наблюдения за трещинами, их расположением и скоростью развития позволяют установить причинно-следственную связь явлений, развивающихся в системе "памятник – геологическая среда". Возможность выявления причины деформации памятников архитектуры по характеру и динамике развития трещин можно проследить на примере развития трещин в стенах Египетского павильона Останкинского дворца [32].

Так, проведенные исследования по комплексной программе в интерьере Египетского павильона показали, что его температурный режим, включая подполье, в зимний период является сопоставимым с режимом температур наружного воздуха. Невысокие характеристики температурного сопротивления асфальтового пола в подполье определили благоприятные условия для формирования там сезонно-мерзлого слоя значительной глубины. Это привело к тому, что глубина сезонного промерзания грунтов повышается на 15–20%, по сравнению с примыкающей территорией дворца, покрытой снегом.

Следствием образования сезонно-мерзлого слоя в подполье явились криогенные деформации каминов и печей, составивших 5,0–6,5 мм. В целом их сезонные колебания оказались довольно сложными. В частности, относительные пространственные колебания печей Египетского павильона, на которых установлены наблюдательные марки, составляют 1,5–2,0 мм, что определяет их крен на 2–3 угловых минуты. При этой величине крена верх печей перемещается на 4–5 мм. Плоскость, в которой происходят наклоны печей, ориентирована с востока на запад, что приводит к развитию трещин в местах стыков печей со стенами. На рис. 68 приведены графики деформаций одной из печей Египетского павильона и примыкающих к ней стен. Крены печи с севера на юг приводят к появлению в местах стыков трещин разрыва. Разные по величине деформации стен к северу и югу от печи и по отношению к деформациям самой печи приводят к появлению трещин сдвига. Длительное, систематическое и знакопеременное воздействие на связи в стыках печей и стен привели к разрушению штукатурки и декоративной лепнины, что хорошо видно на фотографии.

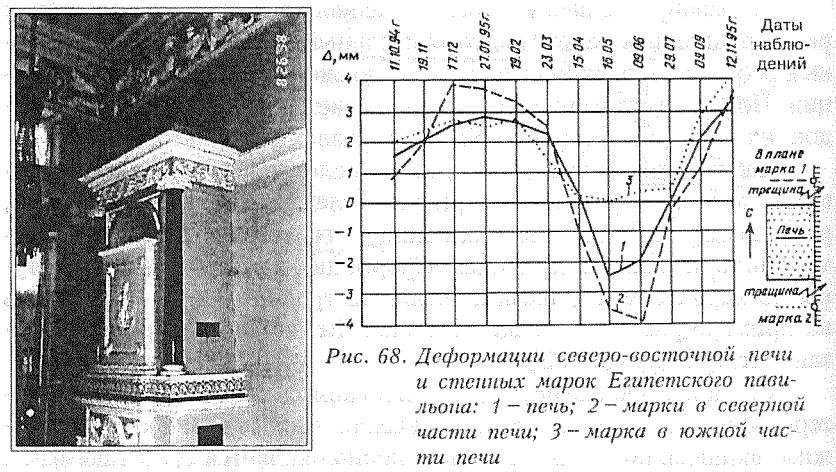


Рис. 68. Деформации северо-восточной печи и стенных марок Египетского павильона: 1 – печь; 2 – марки в северной части печи; 3 – марка в южной части печи

Другим примером может служить Белая палата в Ростове Великом, представляющая собой одностолпное двухэтажное здание, квадратное в плане. Известно, что до 1978 г. в палате никаких деформаций не наблюдалось.

Развитие трещин отмечалось на южной и западной стенах Белой палаты и сводах, примыкающих к ним. Максимальное раскрытие трещин (3–5 см) было отмечено на северной стене и в своде первого этажа Отдаточной палаты. Появление трещин и их локализация обусловлены минимальным сопротивлением разрыву кладки при неравномерных осадках.

Причин для развития неравномерной осадки Белой палаты несколько, и многие из них могут накладываться, увеличивая ухудшение состояния и свойств грунтов основания. К ним в первую очередь следует отнести следующие: сплошное асфальтовое покрытие внутреннего дворика к югу от палат, исключившее испарение грунтовых вод; постройка к северу от палат киноконцертного зала и прокладка вблизи стен палат водопроводящих коммуникаций. Эти условия предопределили резкое увеличение процессов интенсивного разложения древесины, особенно на границе "вода — воздух", разуплотнение грунтов основания и как результат их совместного действия — развитие неравномерных осадок.

Одновременно развитию трещин способствовало нарушение температурно-влажностного режима палат. Температура воздуха в помещении достигала 32°С при влажности воздуха 90%.

В ходе исследований для выявления инженерно-геологических причин деформации памятников архитектуры в зависимости от сложности инженерно-геологических условий необходимо выполнение следующих видов работ.

1) Составление плана и разреза условий деформации памятника в масштабе 1:50–1:200, на которых отражаются основные элементы геологического строения, контуры и параметры элементов памятника, асфальтированные участки, сеть подземных коммуникаций, включая транспортные туннели и метрополитены, участки развития инженерно-геологических процессов, фрагменты зданий памятника, имеющие деформации.

2) Геофизические исследования проводятся в соответствии с положениями в приложении 4 СНиП II-А.1.02.07-87. Следует отметить, что применение геофизических методов в городских условиях затруднено из-за различных помех и влияния искусственных проводников (рельсовые пути, трубопроводы, электрифицированный транспорт, вибрационные и динамические шумы и т.п.).

3) Гидрогеологические исследования проводятся с целью уточнения глубины залегания уровня грунтовых вод и его динамики, определения химического состава. Исследования должны проводиться в соответствии с требованиями, изложенными в приложении 3 СНиП II-А.1.02.07-87.

4) Проходка горных выработок является наиболее эффективным методом изучения состава и состояния грунтов оснований, степени сохранности фундаментов, деревянных свай и лежней. Чаще всего используются разведочные шурфы с вскрытием подошвы фундаментов подкопом на глубину не менее 1,0 м.

При проходке разведочных шурфов определяют геометрические размеры (ширину верхнего обреза, подошвы и угол развития напряжения фундамента, способы их сооружения) и материалы фундаментов и их состояние, глубину заложения, наличие горизонтальной и вертикальной гидроизоляции, глиняных замков, фундаментных вод, выявляют тип грунтов оснований и их состояние, наличие и состояние деревянных свай, их параметры. Количество шурфов устанавливают в зависимости от степени деформированности здания памятника, его размеров и сложности инженерно-геологических условий. Обязательным является заложение 2–3 шурфов в местах, где конструкции памятника имеют трещины (по одному на участках деформированных конструкций) и в местах возможного изменения глу-

бины фундаментов. Шурфы следует проходить ниже подошвы на 0,8–1,0 м, для подробного исследования состояния грунтов основания и деревянных конструкций. Размеры шурфов принимаются от 1,0x1,0 до 2,5x2,0 м и их площадь в квадратных метрах примерно равна глубине в метрах. Ширина подошвы фундамента может быть определена по данным двусторонних шурфов, в одностороннем шурфе ширина фундамента устанавливается либо с помощью сквозного подкопа под подошвой фундамента, либо при условии симметричности фундамента по величине уступов.

Для построения геологического разреза участка расположения памятника производят бурение скважин с поверхности в непосредственной близости от здания или из шурфов. Число скважин и их глубина зависит от цели исследования, геологического строения участка, типа здания памятника (культовые, гражданские, утилитарные сооружения), факторов, влияющих на сохранность грунтов основания.

Для определения влажности и плотности грунтов используются методы, описанные в работе [22].

5) Опытные работы проводятся для решения специальных вопросов, связанных чаще всего с улучшением грунтов в сфере взаимодействия памятника архитектуры. Они проводятся, во-первых, для уточнения расчетных показателей свойств грунтов и, во-вторых, для выбора наиболее эффективных методов улучшения грунтов основания. В последнем случае должны быть получены ответы на следующие вопросы: водопроницаемость грунтов, направление и скорость движения грунтовых вод, радиус закрепления грунтов, выбор вяжущего материала и отработка технологии производства работ.

При обследовании фундаментов в шурфах определяют тип материала фундамента, его форму, размеры и глубину заложения, характеристику камня и раствора, наличие следов выветривания, выщелачивания камня и растворов, локального разрушения и генезис трещин [19]. Очень важно выявление фундаментных вод, их химического состава, агрессивности и определение по их расходу в шурфы возникшей общей пустотности фундаментов.

Особенное внимание следует обращать на граничную зону между фундаментом и цоколем. Из-за "погружения" цокольной части стен в техногенные грунты и создания благоприятных условий для деструкции кладки физико-химическими процессами выветривания образуются деструктивные разрушения в виде "шейки". В этой зоне отсутствует необходимое сцепление между раствором и кирпичом,

раствор рассыпается до состояния крупнозернистого песка, отмечаются вывалы кирпича, выбоины, значительное число разно ориентированных волосяных и раскрытых трещин, высолы. Указанные дефекты кладки выключают из статической работы конструкции стен с соответствующей потерей прочности.

Для лабораторных исследований составляющих бутового или кирпичного фундамента отбирают пробы. В кирпичном фундаменте отбирают 10 кирпичей из разных участков, в бутовом — 5 образцов с минимальным размером сторон 5x10x20 см.

Число образцов раствора определяется необходимостью склеивания из них пяти кубов размером 7x7x7 или 4x4x4 см.

При проведении обследования оснований и фундаментов порядок работ и форму записи результатов обследования целесообразно определять согласно "методике обследования и проектирования оснований и фундаментов при капитальном ремонте" [19].

При осмотре стен памятника устанавливают вид и характеристики материалов, отклонения от геометрических размеров, наличие и зону распространения трещин и тех или иных разрушений на поверхности.

Схему расположения обнаруженных при осмотре трещин наносят на развертку, разрез или аксонометрию здания памятника. Результаты наблюдений за развитием трещин фиксируют в журнале наблюдений. Для наблюдения за раскрытием трещин на освобожденную от облицовочного слоя поверхность стены устанавливают маяки — гипсовые, стеклянные, цементные, металлические и пр. Каждую трещину перекрывают не менее, чем двумя маяками: один — в месте наибольшего раскрытия трещины, другой — в конце трещины. На маяке указывают дату установки и номер, а в журнале наблюдений сведения об организации или лице, его устано-

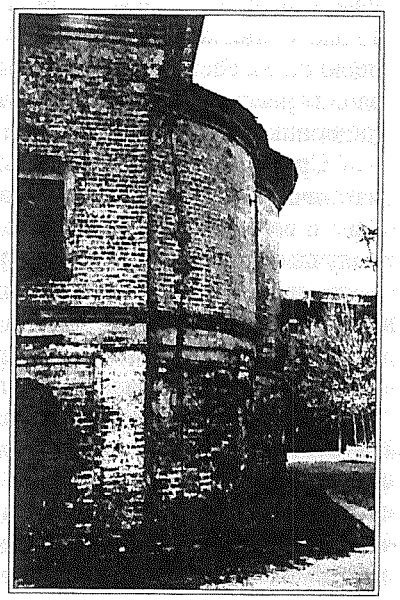


Рис. 69. Установка маяков для наблюдения за развитием трещины

вившем (рис. 69). Схему расположения маяков наносят на развертку стен, а время их осмотра и обнаружения разрушения отмечают в журнале наблюдения.

Для получения информации о скорости развития трещин с обеих сторон трещины устанавливают реперы. Расстояния между реперами измеряют индикатором часового типа. Для определения ширины раскрытия трещины с точностью до 0,01 мм может быть использован прибор МИР-2.

На основании собранных материалов составляется заключение о техническом состоянии памятника архитектуры, в котором приводятся рекомендации по выведению памятника из аварийного состояния, по исследованию эксплуатационного режима.

Геофизические методы исследований, как дистанционные методы, позволяют обеспечить доступность фиксирования исследуемого объекта, скрытого от непосредственного прямого обзора. Наибольший интерес к возможностям этих методов может быть проявлен при изучении фундаментов контактной зоны между фундаментами и грунтами, а также состояния свай. Причем этот интерес связан не только с оценкой параметров разных элементов фундаментов, но и с оценкой их состояния. Только эффективное решение этих задач позволит рассматривать геофизические методы, как альтернативу традиционным прямым инженерно-геологическим методам.

Сравнительная простота получения геофизической информации в отличии от так называемых разрушающих методов (шурфы), скрывает в себе трудности, несоизмеримые с качеством и надежностью получаемой этим методом информации. Трудность и неоднозначность, а иногда и невозможность, расшифровки получаемой геофизическими методами информации не скрывают сами геофизики. В частности, в работе [45] отмечается, что, например, "...свайный пояс не дифференцируется по физическим параметрам от окружающего грунта, и это делает невозможным оценку состояния свай, а в ряде случаев затрудняет определение самого факта их наличия" (с. 173).

Дифференциация в системе "фундамент–грунт", например, электрических свойств, делает возможным использование электромагнитных излучений для определения параметров фундаментов, в частности, глубины заложения. Однако, в случае обводненности грунтов и фундаментов эта дифференциация уменьшается, возникают колебания соотношения электрических свойств грунтов и кладки фундаментов, а это в значительной степени снижает эффективность методов в выявлении таких

важных элементов фундаментов как гидроизоляция, фундаментные воды или в оценке состояния связующего раствора.

Анализ результатов проведенных геофизических исследований на памятниках архитектуры показывает, что использование наиболее применяемых в этих случаях методов, таких как электрометрический, сейсмоакустический или метод электросвайного зондирования позволяет надежно определить лишь глубину заложения фундаментов.

4.5. Анализ причинно-следственной связи при оценке условий деформирования памятников архитектуры

Для разработки научно обоснованной методологии реставрации памятников архитектуры, учитывающей причинно-следственные связи, формирующиеся в системе "памятник — геологическая среда", значительный интерес представляет диагностика деформаций памятников, позволяющая объяснить наблюдаемые признаки деформаций, обусловленные различными причинами. Под причиной в данном случае следует понимать различные обстоятельства, при которых наблюдается действие внешних факторов. Причина служит непосредственным условием для развития разрушающих процессов. Как отмечалось в работе [39], возникновение условий при наличии причин приводит к созданию дополнительных условий для развития процессов разрушения конструкций и ухудшения свойств грунтов оснований. Такая последовательная смена состояний конструкций и грунтов с системе обусловлена циклическим характером действующих факторов. Только при таком подходе возможно объяснение причин, приводящих памятник к разрушению, и можно разработать эффективные мероприятия по предотвращению развития разрушающих процессов. При этом чем точнее будут выявлены причины разрушения памятника, тем эффективнее можно назначить укрепительные и защитные мероприятия, а также эксплуатационный режим памятника.

При изучении причин деформации памятников можно выделить два подхода: конструктивный и инженерно-геологический. Конструктивный подход предполагает исследование причин деформаций основных несущих конструкций памятников как результата их взаимодействия с факторами внешней среды. Второй подход предусматривает изучение процессов и явлений, возникающих в грунтах оснований памятников, под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека.

Поскольку элементы системы "памятник — геологическая среда", изменения состояния которых обуславливают развитие деформации памятников, тесно взаимосвязаны, оба указанных подхода к исследованию причин деформаций памятников не могут рассматриваться изолированно и должны дополнять друг друга.

В основе диагностики причин деформирования памятников архитектуры должны быть заложены методы, позволяющие выявить в рассматриваемой системе условия сохранения и разрушения несущих конструкций. Эта задача решается с помощью анализа деформаций основных конструкций памятника с учетом влияния различных природных факторов и изменений инженерно-геологических условий. Взаимодействие природных факторов с материалом конструкций и грунтами оснований памятников, определяющее состояние и изменение их свойств, весьма сложно и неоднозначно.

Существование памятника архитектуры проходит под воздействием окружающих его и действующих на него факторов внешней среды. Взаимодействие их с основными несущими конструкциями приводит к формированию сложных причинных связей и явлений. Фиксирование явлений, как результат такого взаимодействия, дает возможность судить о ходе дальнейшего развития наблюдаемых явлений и предупреждать развитие таких масштабов этих явлений, которые могут нанести ущерб сохранению памятника.

Причина и проявление деформации памятника связаны последовательностью их развития во времени, но этого бывает часто недостаточно, чтобы однозначно оценить, что найдена причинная связь между явлениями. Для этого при диагностике причин деформации памятников архитектуры необходимо избегать появления логической ошибки в выявлении причин, афористически выражаемой так: "После этого — значит, по причине этого".

Достаточно надежные результаты при диагностировании может давать метод сравнения поведения аналогичных ситуаций, конструкций. Выявление при этом характерных отличий, регулирующих развитие процесса, позволит выйти на основную причину.

В качестве иллюстрации к сказанному можно привести пример развития трещин в Преображенском соборе в Холмогорах. Первые сведения о развитии трещин в соборе, очевидно, из-за неравномерных осадок от сгнивших свай, относятся к XVIII в. На фотографии 1914 г. заметна незначительная вертикальная трещина на южном фасаде собора. По-видимому, за два столетия своего существования собор имел незначительные осадки. Резкое увеличение этих трещин произошло в 40-е годы нашего столетия, когда в юго-восточном углу храма на базе трактора была устроена мельница. В результате передачи на глинистые грунты основания вибрационной нагрузки они утратили вследствие тиксотропии механическую прочность и юго-западная часть собора отклонилась от основного объема. Трещина достигла размера на уровне закомар нескольких десятков сантиметров (рис.70). В создавшейся аварийной обстановке мельница была выведена из собора, причина разрушения собора была устранена, после чего осадки и развитие трещины прекратились.



Рис. 70. Трещина, определившая отрыв юго-западной части Преображенского собора в селе Холмогоры

Причины, вызывающие повреждения памятников, можно свести к следующим [28]:

- причины, присущие самому памятнику (конструктивные);
- причины, связанные с действием внешних природных и антропогенных факторов и с режимом эксплуатации памятника.

В числе первых причин можно перечислить следующие: ошибки, связанные с выбором местоположения памятника (геоморфологические особенности территории, например, Печерский монастырь XV в., Солотчинский монастырь и храм Христа Спасителя на Воробьевых горах); ошибки, связанные с характером сооружения (тип примененных материалов, конструктивные дефекты, ошибки, допущенные при строительстве, ошибки технологического порядка и пр.).

Внешние причины включают в себя естественный ущерб и повреждения, нанесенные человеком; их можно подразделить в свою очередь на:

- естественные долговременные причины;

- естественные случайные причины;
- причины, связанные с хозяйственной деятельностью человека.

Долговременные причины включают многочисленные физические, химические, биологические, микробиологические процессы, медленно разрушающие конструкции памятника. Их часто определяют термином "старение" сооружения.

В качестве примера подобного "старения" можно привести случай химического выветривания раствора кирпичной кладки в цокольной части торговых рядов в Солигаличе. В результате подсоса высокоминерализованных сульфатных вод был полностью выщелочен известковистый раствор, в результате чего произошла осадка цоколя и расположенных выше конструкций.

Причины, связанные с деятельностью человека включают ущерб, связанный с изменениями, привносимыми людьми в окружение памятника (появление вредных элементов в воздухе, например, сернистый газ, окись углерода, изменение гидрогеологических условий).

Для анализа причин деформаций памятников архитектуры, включенных во вторую группу, можно воспользоваться классификацией причин деформаций сооружений, предложенной Масловым Н.Н.

Он разделил деформации этой группы на 5 классов:

1 – деформации связаны с нарушением прочности грунтов оснований в результате концентраций нагрузок, превышающих допустимые(явления выпора грунта, сдвиг и т.п.);

2 – деформации связаны с уплотнением грунтов оснований под действием статической и динамической нагрузки (явления осадки грунта);

3 – деформации связаны с действием на грунты подземного потока (явление выноса грунта — суффозия, растворение, повышенная фильтрация и т.п.);

4 – деформации связаны с нарушением устойчивости грунтов на склонах (оползни);

5 – деформации связаны с землетрясением.

Обобщение и анализ опыта эксплуатации памятников позволяют выявить наиболее уязвимые места, дефекты их конструкций [38]:

- места сопряжений и переломов конструкций (стыки, сопряжения зданий различной этажности, сопряжения кровли с трубами, парапетами, стенами, ендовы на крышах и т.п.)
- места приложения сосредоточенных нагрузок (опорные части колонн, пилястры, простенки, перемычки и пр.);

- места вероятного увлажнения конструкций: сопряжения стены с цоколем, цоколя с фундаментом и отмосткой, места пропуска водосточных труб, водометов, через карнизы, места возможного скопления атмосферных вод и подтопления фундаментов;
- места пропуска коммуникаций через стены;
- места излома и сопряжения горизонтальной и вертикальной гидроизоляции;
- места наибольшего износа защитных покрытий.

Наиболее опасны дефекты в основаниях и конструкциях фундаментов, поскольку там концентрируются максимальные напряжения.

4.6. Примеры диагноза причин деформирования памятников архитектуры

Польза от анализа примеров в любом деле совершенно очевидна. Особенно это важно в тех областях практической и научной деятельности, где получение информации сопряжено с большими трудностями. Поскольку жизнь памятников растянута на многие сотни лет и информации о их состоянии за прошедшие годы в большинстве случаев нет, то сказанное имеет прямое отношение к ним.

В связи с этим уместно вспомнить слова И. Ньютона: "При изучении наук примеры не менее поучительны, нежели правила". Правил в инженерно-геологической диагностике пока нет. Обращение к наиболее ярким примерам установления диагноза отдельным памятникам может послужить основой для обогащения опыта изучения причинно-следственных связей, определяющих природу и механизм их деформаций. Подобный подход ценен еще и тем, что, как правило, не требует больших затрат.

Памятники архитектуры, не имеющие нормированных сроков существования и по своему назначению призванные служить человеку вне времени, должны иметь надежное основание, нарушение которого влечет за собой деформации конструкций памятников, а иногда и их гибель. При этом надо иметь в виду, что наиболее длительный срок работы испытывали грунты в основании именно памятников архитектуры, которые за период их существования в течение многих сотен лет чаще других сооружений испытывали влияние различных изменений в окружающей среде.

Поэтому проведению реставрационных работ должно предшествовать тщательное инженерно-геологическое изучение состояния грунтов оснований, подвергшихся влиянию антропогенных изменений.

Воздействие человека на окружающую геологическую среду и породы велико. В городах глубина вертикальной зоны антропогенных изменений пород под влиянием гражданского, коммунального, транспортного и гидротехнического строительства в настоящее время достигает 10–12 м, а с учетом строительства метрополитена и эксплуатации водоносных горизонтов — 40–60 и более метров.

Глубина антропогенных изменений обуславливается:

а) глубиной заложения подземных коммуникаций и сооружений, перераспределением напряжений в массиве от строительства открытых и подземных горных выработок, под действием вибраций от транспорта;

б) глубиной уплотнения или изменения грунтов в результате дренирования подземных вод или при подъеме уровня подземных вод ("самоподтопление" городов).

Антропогенные воздействия на грунты оснований могут быть разделены на механические (динамические нагрузки, суффозия) и физические; прямые (строительная деятельность человека) и косвенные (изменения грунтов при создании депрессионных воронок); обратимые (тиксотропные изменения грунтов) и необратимые; кратковременные и вековые; местные и региональные; приповерхностные и глубинные. Все эти воздействия в совокупности изменяют состояние, структуру грунтов в основании памятников

Ниже приведены примеры влияния на сохранность памятников архитектуры наиболее характерных антропогенных факторов.

I. Трапезная палата Андроникова монастыря в г. Москве

В годы Великой Отечественной войны произошла значительная деформация объема трапезной (с последовательным образованием блоков I, II и т.д.), вызванная резким разуплотнением основания и просадками конструкций в связи с устройством под западной стеной палаты бомбоубежища, объемом до 200 м^3 (рис.71). Оно имело вход со стороны набережной и находилось приблизительно на глубине 9 м ниже уровня пола подвала. После войны поддерживающие деревянные конструкции бомбоубежища и входной штольни были частично разобраны. Произошло постепенное обрушение бревенчатого перекрытия с соответствующей просадкой вышележащих слоев песка и насыпного грунта. Нет сомнения, что разрыхление основания под западной стеной Трапезной произошло уже в момент выработки грунта под бомбоубежище. К тому же в отрытый объем, видимо, было "выпущено" достаточное количество песка из вышележащего слоя, о чем

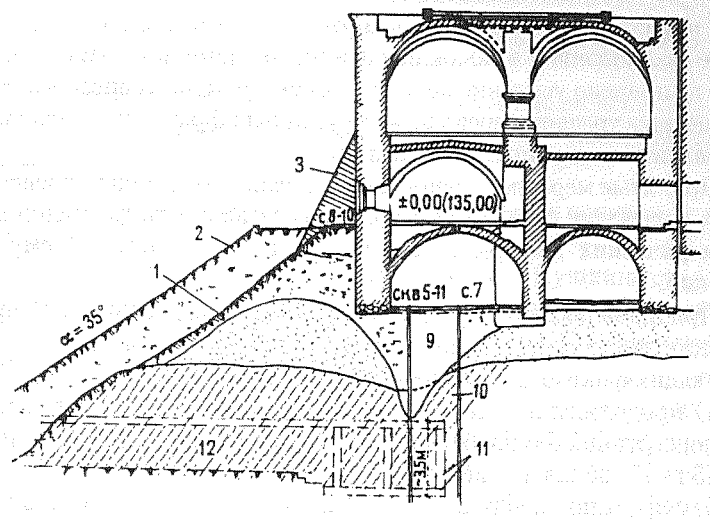


Рис. 71. Инженерно-геологический разрез под трапезной палатой Андроникова монастыря в Москве: 1 – поверхность откоса (1947–1950 гг.); 2 – современная поверхность откоса; 3 – стена 1504–1506 гг.; 9 – воронка; 10 – скважины; 12 – штольня

свидетельствует большая толщина засыпки (до 5,5 м) под полом подвала и характерное местное "истощение" песчаного слоя. Можно предположить, что этот прорыв произошел при проходке вентиляционной шахты или вдоль ранее существовавшего колодца. Обрушение грунта в бомбоубежище и заполнение его объема (даже неполное) привело к еще большему разрыхлению основания и увеличению площади осадки поверхности. Первоначально подстилающий песок "вытек" из-под фундаментов западной стены, частично центрального столба и внутренней стены подвала трапезной, а также и из-под юго-западного угла Северной палаты. Эти фундаменты оказались висящими (по свидетельству отчетов за 1947–1948 гг.) или опирающимися на засыпку. Так, под западной стеной трапезной палаты на участке протяженностью 16 м образовался отрыв грунта основания от подошвы фундамента на величину 0,1–0,15 м, что привело к появлению в сводах палаты крупных трещин и воронкообразных провалов в земляном полу подвала глубиной 0,2–0,25 м. Меры по устранению просадок проводились в первые же послевоенные годы, когда заполнялись пустоты непосредственно под фундаментами; в конце 50-х

годов произведено заполнение возможных незасыпанных полостей в откосе закачиванием в скважины цементно-глинистого раствора. Тогда же выполнено усиление надземных конструкций трапезной палаты — зачеканка трещин, перекладка обрушенных фрагментов сводов, восстановление воздушных связей и др.

Принятые меры по укреплению основания оказались своевременными, поскольку позволили устранить возможность дальнейших катастрофических деформаций и восстановить рабочую схему конструкций.

Причиной последующих, ныне наблюдаемых деформаций, происходящих по старой "канве" (хотя и медленно) является действие следующих факторов нарушения основания:

а) продолжение естественного разрушения (гниение) деревянных конструкций бомбоубежища (зафиксированных скважинами 1948 и 1953 гг.) с образованием пустот;

б) суффозионный процесс при инфильтрации атмосферных осадков сквозь массив участка бомбоубежища и северного откоса (наблюдаемый в период дождей или таяния снега). Данное обстоятельство способствует явному оползанию досыпанной в 50-х годах части откоса, что особенно заметно в районе трапезной палаты, где берма получила прогибы и наклон к откосу, а покрывающее ее асфальтовое покрытие — продольные разрывы и сдвиги;

в) постоянная вибрация откоса при интенсивном движении тяжелого грузового транспорта вдоль набережной Яузы.

Регулярное затопление участка между стеной и Трапезной палатой (талыми и дождевыми водами и прорывом канализации) являлось в последние годы основной причиной осадок конструкций палаты, пристройки и примыкающего прясла монастырской стены. Протечки канализации имеют место и в междуэтажных перекрытиях, в частности, над сводом подвала трапезной палаты.

Предупреждение дальнейших осадок потребует выполнения комплекса работ по укреплению всего откоса, а также основания непосредственно под фундаментами наиболее деформированных частей здания. Представляется, что наиболее эффективным мероприятием было бы проведение повторной закачки цементно-глинистого раствора в пустоты, которая стабилизировала на время грунтовый массив. Однако, по мере гниения засыпанных деревянных конструкций, осадки могут возобновиться и будут продолжаться до тех пор, пока

образующаяся в пределах бывшего бомбоубежища пустотность не будет полностью ликвидирована.

Одновременно с укрепительными работами должна быть решена проблема вертикальной планировки и водоотвода с поверхности территории монастыря.

II. Государственный музей изобразительных искусств им. А.С. Пушкина

Начиная с 1936 года здание ГМИИ им. А.С.Пушкина стало воспринимать динамические нагрузки от проходящих в непосредственной близости поездов московского метрополитена. Наименьшее расстояние в плане от здания музея до тоннелей метрополитена составляет 9 м (юго-западный угол музея, где расположен Египетский зал), максимальное удаление трассы тоннелей от главного фасада составляет менее 30 м. Влияние динамических нагрузок на юго-западную часть музея усиливается тем, что на ближайшем к нему перегонном тоннеле начинается торможение поездов метрополитена, которое приводит к усилению динамических нагрузок.

Результатом передачи динамических нагрузок на грунты основания явилось их местное переуплотнение, появление неравномерных осадок, деформаций в стенах и перекрытиях музея. Особенно остро на вибрационные нагрузки реагировал наиболее хрупкий строительный материал, используемый при строительстве музея — искусственный мрамор, который в результате этих нагрузок покрылся паутиной микротрещин (Белый зал).

В 1956 г. при обследовании Египетского зала, зала Древнего Востока и ряда других залов были зафиксированы кулисообразные трещины в полах с раскрытием до 3–4 мм и смещением по ним блоков в вертикальном положении до 4–5 мм. Характер относительных перемещений блоков пола, понижение абсолютных отметок пола в юго-западном направлении свидетельствует о развитии осадок здания от вибрационных нагрузок метрополитена. В залах, где динамические нагрузки ощущаются особенно остро, развитие трещин продолжается до настоящего времени. Опрос сотрудников музея, работающих в этих залах, показал, что появление новых трещин наблюдалось и в последние десятилетия.

Все это подтверждает, что процесс развития осадок грунтов оснований и развития трещин в несущих конструкциях залов музея не прекращается.

В 1976 г. по заданию ГПИ "Гипротеатр" Мосгоргеотрест провел дополнительные (первое обследование фундаментов было проведено в 1953 г.) исследования фундаментов здания музея. В результате этих исследований было установлено, что фундаменты находятся в удовлетворительном состоянии, за исключением участка калориферной, где шурфами были зафиксированы горизонтальные трещины с раскрытием до 2–10 мм. Причину появления этих трещин Мосгоргеотрест связывал с насыпными грунтами, якобы залегающими ниже подошвы фундамента на глубину 1,4 м и рекомендовал выбрать на эту глубину грунт и заполнить новой кладкой.

В ноябре 1979 года при выполнении работ по подводке новых фундаментов на участке калориферной под Греческим залом обнаружен отрыв нижней части фундамента на 0,6 м (рис. 72), а под противоположным фундаментом была зафиксирована просадка грунта на ту же величину на участке длиной около 12 м. При этом было установлено, что грунты, залегающие в основании фундаментов, представлены так же, как и под фундаментами всего здания, древнеаллювиальными песками.



Рис. 72. Отрыв грунтов основания от подошвы фундамента Греческого зала музея изобразительных искусств им. А.С.Пушкина

Ошибочная диагностика причин деформации фундаментов (неравномерное обжатие насыпных грунтов под подошвой фундаментов) явилась следствием несовершенной методики, принятой Мосгоргеотрестом при исследовании оснований (бурение скважин в рыхлых грунтах без обсадки трубами ручным буром искажает фактическое строение, состав и структуру грунтов), а также тем, что не были изучены и учтены при анализе деформаций возможные источники локального увлажнения грунтов оснований вблизи калориферной.

При проходке шурфов ошибочность выявленных Мосгоргеотрестом причин трещин в фундаментах стала очевидной. Было установлено, что основание сложено древнеаллювиальными песками с характерной для них текстурой и структурой, во-вторых, было установлено, что природа просадки грунта на 0,6 м с сохранением фундамента в первоначальном положении благодаря "мостовому эффекту" намного сложнее, чем просто "обжатие насыпных грунтов". Опрос рабочих калориферной показал, что в прошлом неоднократно были случаи значительной утечки воды из ванн и труб, которая удалялась под фундаменты на участке проявления максимальных деформаций.

Таким образом, наиболее вероятной причиной осадок грунтов основания явился суффозионный процесс — вынос мелких частиц грунта, вызванный утечкой воды из калориферной. Вынос песчаных частиц из переуплотненных вибрационной нагрузкой песков (в пределах активной зоны основания мощностью 5–6 м), сосредоточенный в одном месте утечкой воды, привел к их разуплотнению, резкому увеличению пористости и просадке.

Значительные просадки грунтов основания на участке длиной около 12 м могли бы привести к значительным деформациям и обрушениям даже при подведении бетонных фундаментов-подушек, поскольку грунты на глубине около 6–8 м находятся в рыхлом состоянии.

Изложенное выше позволило сделать следующие выводы.

1. Здание ГМИИ им. А.С.Пушкина находится в сфере влияния постоянно действующих динамических нагрузок от метрополитена, и на их фоне смогут развиваться локальные процессы, действие которых будет только усиливаться этими фоновыми нагрузками. Поэтому стало очевидным выделение и разработка мероприятий двух направлений для выведения здания из создавшегося положения. Первое направление было связано с выбором мероприятий по стабилизации деформаций в здании музея, второе — по устранению причин и следствий на участке деформирования оснований и фундаментов.

2. По первому направлению были выполнены следующие мероприятия:

а) исследования и разработка проекта по созданию средств, блокирующих вибрационные нагрузки от метрополитена;

б) проведено повторное нивелирование пола 1 этажа тех марок, по которым в 1953 г. Мосгоргеотрест установил отметки пола;

в) разработан проект укрепления грунтов основания для исключения в дальнейшем развития деформаций грунтов основания.

3. По второму направлению проведены следующие работы:

а) закреплены древнеаллювиальные грунты основания на участке их деформирования;

б) забетонированы образовавшиеся полости под фундаментами;
в) трещины в кладке стен и фундаментов были затампонированы;
г) следует исключить в будущем все возможные утечки воды из калориферной и всех коммуникаций.

III. Успенский собор в г. Дмитрове

Собор расположен в пределах Клинско-Дмитровской моренно-эрозионной возвышенности на древнеаллювиальной террасе р. Яхрома (абс.отм. 138,7–140,35 м). В геологическом отношении участок сложен толщей четвертичных отложений, представленных переслаиванием суглинков, песков с включениями гальки и щебенки.

Водоносный горизонт вскрыт на глубине 2,3–3,0 м (юго-западный угол). На отметках заложения фундаментов собора грунтовые воды не вскрыты. Установлено, что такой резкий перепад уровней грунтовых вод связан с утечкой воды из системы теплотрассы водопровода и канализации, проложенных вблизи собора.

В стенах наблюдаются трещины с раскрытием от волосных до 2–3-см. Имеются горизонтальные трещины в подклети. Крестовые и цилиндрические своды имеют трещины, ориентированные в северо-западном направлении.

Причиной появления трещин является неравномерная осадка здания, обусловленная: а) нарушением структуры грунтов основания при их периодическом замачивании от утечек воды из подземных коммуникаций; б) ослаблением кладки фундаментов, вследствие выщелачивания раствора под действием инфильтрационных вод при отсутствии отмосток и организованного отвода атмосферных осадков от здания.

Многолетнее отсутствие планировки участка вокруг здания, полностью разрушенные отмостки создали условия, при которых инфильтрационные воды поглощаются фундаментами и грунтами основания собора. Существенную роль в подтоплении собора играют утечки воды из системы теплоснабжения с южной стороны собора. Изменение структуры связных грунтов, выщелачивание известкового раствора из кладки фундаментов приводит к неравномерным осадкам здания и деформациям несущих конструкций. Нарушение связи раствора с камнем, а также наличие пустот и крупных камней валунов приводит к перераспределению напряжений в кладке фундаментов при неравномерных осадках.

Для изучения состояния деревянных свай под фундаментами собора были заложены 2 шурфа под северной стеной и северо-западным столбом собора. На глубине 0,3 м под подошвой фундамента были вскрыты сгнившие остатки деревянных свай. Залегающие на этой глубине под фундаментом пески влажные и рыхлые в связи с разуплотнением от сгнивших свай. Ниже под уровнем грунтовых вод находятся сваи в удовлетворительном состоянии. Сваи расположены поперечными рядами, расстояние между рядами 0,5 м, между сваями в ряду — 0,35 м, диаметр свай — 0,12–0,18 м. Гниению подвержены наиболее расширенные части свай.

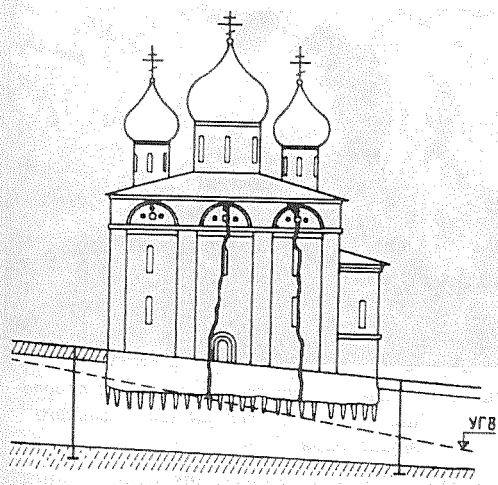


Рис. 73. Влияние изменения уровня грунтовых вод на деструкцию свай и развитие деформаций в несущих конструкциях Успенского собора г. Дмитрова

Максимальные деформации собора (стены, своды) приурочены к центральной части храма, под которой происходит выклинивание грунтового потока. На рис. 73 показано, что при градиенте грунтового потока 0,13 (дневная поверхность имеет уклон в этом направлении 0,1) от его колебания в менее благоприятном положении находились сваи под центральной частью собора. Периодическое увлажнение и высыхание свай привело к их быстрой деструкции.

IV. Троицкий собор Ипатьевского монастыря в г. Костроме

Первые значительные деформации в Троицком соборе были зафиксированы еще в XVIII веке, когда собор раскололся на две части крупной трещиной по линии восток-запад. Причиной этому очевидно послужили: пристройка притворов, передававших дополнительную нагрузку от сводов на северную и южную стены и крупное наводнение, затопившее всю территорию монастыря.

Позже, очевидно, собор неоднократно испытывал неравномерные осадки, что привело к необходимости в 1912 г. провести укрепительные работы в основании памятника.

В 1957 г. в результате создания водохранилища Нижегородской ГЭС уровень Волги и Костромы поднялся на 7–8 м. Это привело к

значительным изменениям гидрогеологических условий территории монастыря.

В последние годы резко активизировались осадки и связанные с ними деформации западной части Троицкого собора (XVII в.). Основным фактором развития этих деформаций послужили периодические срабатывания воды в Нижегородском водохранилище, которые приводят к колебаниям уровня грунтовых вод.

Как установлено по разведочным шурфам под фундаментами из валунов на глубине 2,5–2,7 м от поверхности в песчаных грунтах основания сохранились "стаканы" и полусгнившие деревянные сваи-коротыши длиной 0,7–0,8 м. диаметром 0,12–0,16 м (рис. 74).

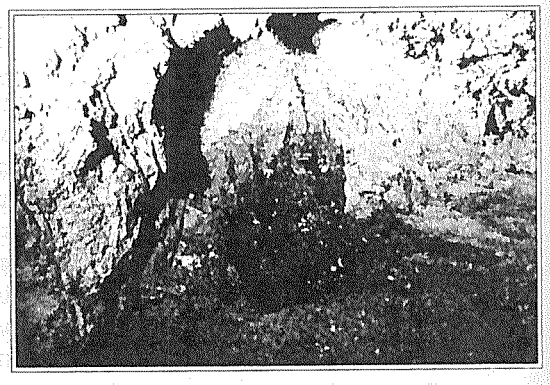


Рис. 74. "Стакан" от сгнившей сваи в основании Троицкого собора Ипатьевского монастыря

Периодическое смачивание и подсыхание свай при амплитуде колебания воды в водохранилище по многолетним наблюдениям до 2,5 м показало, что маяки, установленные на стенах Троицкого собора раскрывались в периоды с минимальным понижением уровня воды, т.е. в период резкого снижения влажности грунтов и свай, что способствует развитию окислительных процессов в сваях. На рис. 75 приведен график колебания уровня воды в водохранилище Нижегородской ГЭС. Минимальный уровень воды в водохранилище наблюдается в период с середины февраля до середины апреля.

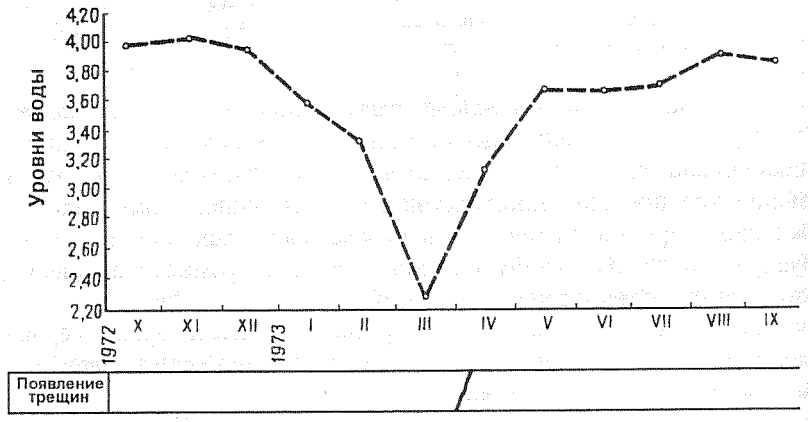


Рис. 75. График колебания уровня воды в водохранилище Нижегородской ГЭС

Появление новых трещин в стенах и своде памятника и раскрытие старых трещин приурочено к началу апреля месяца, т.е. к моменту, когда головки свай уже в течение 1,5 месяцев были освобождены от воды и подвергались окислительному процессу.

V. Богоявленский собор Авраамиева монастыря в Ростове Великом

Пример диагностирования развития деформаций в конструкциях Богоявленского собора являет собой случай сложного выявления конкретной причины. Объясняется это тем, что проявления многих деформаций достаточно однотипны по форме, поскольку связаны с неравномерностью вертикальных перемещений несущих конструкций по величине и времени, и их часто можно идентифицировать с наиболее часто встречающимися осадочными трещинами. В этих случаях надо избегать поспешных и, как правило, ординарных выводов, к сожалению, очень часто не подкрепленнных материалами диагноза. Поэтому, когда диагноз нарушений не подтверждается, необходимо осуществлять повторный диагноз с проведением дополнительных исследований, которые смогут выявить основную причину, вызывающую деформацию памятника.

Богоявленский собор был построен в середине XVI в. и является пятиглавным четырехстолпным сооружением, поставленным на высокий подклет. В настоящее время имеет серьезные деформации в виде крупных трещин раскрытием до 1,5–3,0 см, вывалов из сводов кирпичной кладки площадью до 4–5 м^2 и серьезных деформаций в парусах над юго-западным столбом.

Для выявления причин деформаций на первом этапе исследований были проведены работы по оценке состояния фундаментов и оснований. Обследования показали, что свайное поле под ленточными фундаментами состоит из плотно забитых свай (расстояния между ними 0,08–0,1 м) диаметром 0,25–0,3 м, находящихся по всей длине в отличном состоянии, несмотря на более чем четырехвековую эксплуатацию. Восстановительная обстановка в техногенных грунтах способствует сохранению не только деревянных свай, но и древесных

остатков в грунтах, и обусловлена стабильным положением фундаментных вод, играющих роль защитного буфера.

Таким образом, на этом этапе диагностирования удалось установить, что причиной развития деформаций не могло служить формирование дефицита несущей способности грунтов в результате деструкции деревянных субструкций основания. Было выдвинуто второе предположение — о возможности развития деформаций в результате проявления криогенного пучения. Возможность проявления этого процесса подтверждалась скоплением характерных трещин в угловых частях здания храма.

Проведенные геодезические наблюдения за деформациями стен и за столбами храма в зимний период 1997–98 гг. показали развитие значительных и крайне неравномерных сезонных деформаций в интервале от 3–5 мм до 10–30 мм, что однозначно связало их с проявлением главной причины деформаций — морозным пучением.

Рассмотренные примеры диагноза свидетельствуют, что методы инженерно-геологического диагностирования должны основываться на изучении конкретных проявлений деструкции и дестабилизации, т.е. на оценке определенных "заболеваний" изучаемых систем. Историческую систему, состоящую из двух взаимосвязанных подсистем, нельзя изучать только конструктором или только инженером-геологом. При диагностике должны проявляться глубокие взаимопроникновения опыта и знаний, но не должна допускаться подмена одних специалистов другими. Все задачи при диагностировании состояния элементов системы должны решаться на профессиональном уровне.

Принципиально важно отметить следующее положение. В последние годы в этой области определилась тенденция по преодолению сложившейся ложной научности, крайнего примитивизма и откровенного непрофессионализма. Подобную практику необходимо подкреплять продуманной и целенаправленной деятельностью инженеров-геологов по совершенствованию общей методики диагностирования исторических систем.

"И того досмотрети, добро ли место и подошва на чем стена вести, и надобно ли чтоб сваи бити"

Правила городового дела

"Когда знаешь что делаешь, всегда получается. А теперь об управлении..."

Ричард Бах

Глава 5

Основные способы управления сохранностью и устойчивостью памятников архитектуры

5.1. Общие замечания

Под устойчивостью памятника архитектуры следует понимать способность его основных несущих конструкций оказывать сопротивление усилиям, стремящимся вывести его из состояния статического равновесия, возникающим вследствие неравномерной осадки грунтов основания, деформаций фундаментов при действии динамических нагрузок. Поддержание устойчивости памятников архитектуры — одна из главнейших задач реставрации или консервации памятника. Она достигается с помощью ряда управляющих воздействий, направленных на стабилизацию взаимосвязанных конструктивных и несущих элементов системы "памятник — геологическая среда".

При этом под управлением следует подразумевать совокупность действий, определяемых информацией, получаемой при диагностировании причин деформаций в реальной природно-технической системе "памятник — геологическая среда", и, в соответствии с ними, направляемых на поддержание ее устойчивости техническими средствами.

Природно-техническая система "памятник — геологическая среда" управляема, как и многие подобные системы, на основе принципа обратной связи и способна, как и любая самоорганизующаяся система, к самоперестройке и коррекции техническими средствами управления. Во втором случае должен быть сохранен "суверенитет" памятника от принимаемых технических решений и технологий. Это означает, что после деструкции грунтов основания и развития в конструкциях памятника деформаций он может вновь перейти в состояние

динамического равновесия за счет системных изменений в структуре исторической ПТС. При этом элементы конструкций памятника II и III уровней вполне могут адаптироваться к изменившимся инженерно-геологическим условиям.

Таким образом, адаптирование памятника к новым условиям связано с перестройкой его структуры, которая проявляется в приспособительных изменениях ко вновь возникающим соотношениям между структурными блоками несущих конструкций и грунтами оснований после развития деформаций.

В силу присущих системе "памятник — геологическая среда" свойств, определяемых ее самоорганизацию, она приобретает на время способность к сохранению равновесного состояния. Благодаря этому в каждой из подсистем задействуются внутренние механизмы для нейтрализации деструктирующих сил и на поддержание сохранившегося равновесия.

Поэтому весьма важным действием в обеспечении устойчивости памятников архитектуры является назначение принципа управления устойчивостью, основанного на продолжении выбранного структурой системы "памятник — геологическая среда" пути адаптивного приспособления. Использование этого принципа позволит применять наиболее надежные и эффективные методы исключения неравномерных осадок и обеспечения длительной устойчивости памятников архитектуры.

Поддержание стабилизации исторических построек проводилось и ранее на разных этапах их существования. Но судя по результатам этих усилий, они чаще были связаны с изменениями состояния геологической среды или с не вполне обоснованными решениями при строительстве того или иного сооружения, нарушавшего стабильность памятника. Так, при строительстве котлована для Большого Кремлевского дворца в XVIII в. (арх. В.И. Баженов) была нарушена устойчивость кремлевского холма вблизи Архангельского собора и для предотвращения возможных деформаций к нему с юга были пристроены белокаменные контрфорсы. Подобные решения иногда применялись древними строителями для исключения подвижек грунтовых массивов в результате возможных склоновых процессов. До сих пор стоят невостребованными контрфорсы у стен ц. Иоанна Предтечи, расположенной на склоне Ивановского холма Кирилло-Белозерского монастыря (рис. 76) и у северо-восточного угла Воскресенского собора, обращенного к крутому волжскому склону в г. Романово-Борисоглебске (рис. 77).

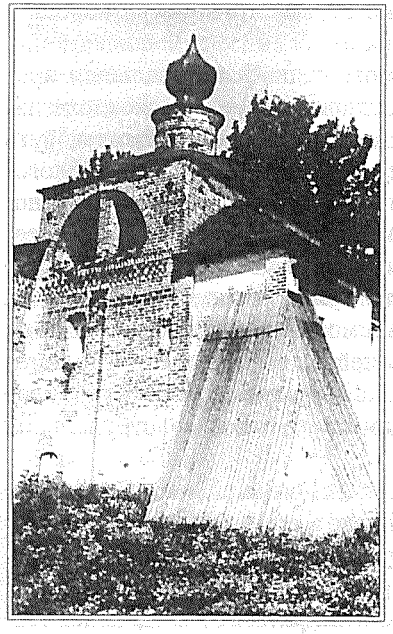


Рис. 76. Контрфорсы у стен ц. Иоанна Предтечи в Кирилло-Белозерском монастыре



Рис. 77. Контрфорсы у северо-восточного угла Воскресенского собора в г. Романово-Борисоглебске

Ошибки при принятии технических решений в процессе реставрации дорого обходятся для памятников. Известно, насколько пагубно отразилось на состояние памятников архитектуры их покрытие цементными растворами, внедренное в практику реставрационных работ П.П. Покрышкиным еще в начале века, якобы для сохранения кладки.

Практически в течение полувека не удается стабилизировать осадки трапезной палаты Андроникова монастыря (см. 4.5), поскольку все принимаемые меры в основном направлялись на ликвидацию следствия, а не причины. Так, в разное время осуществлялись подсыпка песка со щебнем в пазуху под фундаментом, закачивание глинистого раствора в разуплотненные грунты, которое ничего не дало из-за значительной усадки раствора при твердении (до 20%). Не дала положительного результата и подводка в 1977 г. буроинъекционных свай. Наблюдения, проводимые НИИ оснований и фундаментов, по-

казывают продолжающиеся осадки, поскольку причины их породившие остаются пока не ликвидированными.

Поскольку памятники архитектуры относятся к реальным природно-техническим системам, просуществовавшим несколько столетий, при управлении ими возможны только тактические подходы, суть которых раскрывается при целенаправленных инженерно-геологических исследованиях и последующем диагностировании причинно-следственных связей. В подавляющем большинстве случаев инженерно-технические мероприятия по поддержанию устойчивости памятников архитектуры должны сводиться к ослаблению действия опасных геологических процессов в сфере взаимодействия объекта защиты. При этом ликвидация дефицита несущей способности в зависимости от характера технологических операций предусматривает усиление основания, структуры кладки фундаментов и всей конструктивной системы сооружения.

Управление системой, подверженной описанным в главе 3 эволюционным процессам, должно быть лишено механического вмешательства или насильственных силовых функций (в частности, ее природной составляющей), направленных против тенденций развития системы. Таким образом, управление должно опираться на соединение технологий с сутью внутренней тенденции развития системы "памятник — геологическая среда", т.е. механизм самоорганизации системы должен корректироваться и развиваться конструктивными (технологическими) и деструктивными проявлениями.

К сожалению, вопросы управления у нас и за рубежом в последние годы довольно часто решаются, так называемыми, "кардинальными" методами — такими как, например, полное вывешивание зданий памятников на сборных сваях системы Мега или буро-инъекционных сваях конструкции Ф. Лизи [55], либо конструкции "Гидроспецстроя". Во всех случаях происходит изменение условий работы конструкций в связи с приспособлением их к выполнению новых функций.

Уровень знаний о природе формирования дефицита несущей способности позволяет корректировать самоорганизацию системы щадящими ее историко-культурную ценность способами, использовать более экономичные технологии, основанные на дифференцировании степени и характера воздействия, в зависимости от протекания инженерно-геологических процессов и выявленной степени сохранности деревянных конструкций или грунтов в основании памятников.

Исторические природно-технические системы, как показывает многовековой опыт их сохранности, относятся к классу самоорганизующихся систем. Поэтому возникает естественное предположение о возможности использования синергетического подхода при прогнозировании дальнейшего развития этого класса систем.

Практический интерес использования синергетического представления о дальнейшей судьбе архитектурного наследия заключается в том, что по крайней мере можно поставить под сомнение правомерность трендового прогноза по эволюционному сценарию, по которому нас ожидает постепенное исчезновение памятников архитектуры. История архитектурного наследия свидетельствует, что при отсутствии преднамеренного уничтожения памятников архитектуры, они могут сохраняться на протяжении тысячелетий даже в сложных природных условиях, но при превентивном слежении за их состоянием.

Пройдя значительный эволюционный путь развития и сохранив при этом адаптационные способности, исторические природно-технические системы подтвердили возможность быть отнесенными к самоорганизующимся системам, отличительной особенностью которых является нелинейный характер их развития и использование в своем развитии обратных связей.

Следовательно, при организации управления историческими ПТС важным становится определение возможных допусков тех преобразований в структуре системы, которые вбирают эволюционный вектор при предопределении оптимального пути развития рассматриваемой системы.

В этом случае тактическая задача по сохранению памятников архитектуры должна заключаться в том, чтобы эволюционный сценарий развития системы предусматривал своевременное подключение к "случайным неустойчивостям" адекватных технических решений.

Таким образом, важным моментом, отражающим специфику инженерной защиты памятников архитектуры является применение синергетического подхода, поскольку при этом выискивается и сохраняется такая структура природно-технической системы "памятник — геологическая среда", которая разумна, выгодна и функциональна, и способствует развитию ее самоорганизации. Кроме того, мероприятия не должны снижать уровень комфортности среды обитания памятников архитектуры, особо чувствительных к изменениям инженерно-геологических условий.

Основным принципом управления устойчивостью памятников архитектуры, основанным на результатах выявления причин их дестабилизации, должен быть принцип адекватности, который не позволит "навязать" системе принимаемое решение без анализа причинно-следственной связи событий, приведших ее (систему) к деструкции. Решение должно быть выработано в строгом соответствии с вызвавшими ее причинами.

Для сохранения условий динамического равновесия в природно-технической системе "памятник — геологическая среда" применяются разные методы инженерной защиты.

Ниже рассматриваются основные методы стабилизации исторических территорий и расположенных на них памятников архитектуры.

5.2. Стабилизация осадок обжатием грунта в зоне контакта фундамент — грунт

Одним из наиболее распространенных дефектов, встречающихся в структуре природно-технических систем "памятник — геологическая среда", является периодическая неравномерность снижения несущей способности грунтов основания в результате протекания в них эволюционно-революционных изменений.

При разработке технических решений по стабилизации неравномерных осадок памятников архитектуры, необходимо максимально стремиться к возможности использования несущей способности грунтов основания в их естественном сохранившемся состоянии, находящихся во взаимодействии с памятником уже не одно столетие.

Исключить создавшееся со временем неравенство между несущей способностью основания и действующими нагрузками от памятника возможно несколькими способами. Рассмотрим в этом разделе методы, основанные на обжатии грунтов в основании под подошвой фундаментов, т.е. реабилитации их состояния после продолжительного периода действия в них инженерно-геологических процессов.

По существу, уменьшить напряжения, создающиеся под подошвой фундаментов, возможно либо путем расширения площади его опирания на грунт, например, методом прикладки, либо за счет "вывешивания" памятника через введенные в фундаменты сваи на нижележащие грунты. Однако, в первом случае причины, обусловившие ухудшение состояния грунтов не исключаются и, поскольку, в подавляющем большинстве случаев динамика процесса сохраняется, то со временем отмеченное выше неравенство снова возникает и памятник оказывается в прежнем положении.

Второй способ полностью исключает остаточную несущую способность грунтов и передает всю нагрузку от памятника на залегающие ниже сферы взаимодействия грунты, обладающие достаточной несущей способностью. Но этот способ является весьма дорогостоящим и в инженерном смысле малообоснованным, поскольку полностью исключает из работы грунты основания, еще способные воспринимать большую часть нагрузки от памятника. Его можно применять в редких случаях и как исключение, только опираясь на результаты инженерно-геологических исследований.

Рассматриваемый здесь метод связан с улучшением состояния, структуры и свойств грунтов основания, испытывающих эволюционные трендовые изменения и дестабилизирующие тем самым работу основания, и направлен на исключение причин.

В каждом конкретном случае изучение изменений состояния и структуры грунтов необходимо связывать с теми тенденциями, которые создают условия направленного изменения основания. Такой подход должен стать основным направлением в инженерно-геологическом диагностировании причин деформаций памятников архитектуры, поскольку позволяет установить тенденцию эволюционного преобразования основания, которая со временем может привести к резким скачкообразным осадкам. И задача в этом случае должна заключаться в предупреждении очередного скачка неравномерных осадок. Так, например, если изменения в основании коснулись увеличения порового пространства за счет деструкции деревянных свай или органических включений в составе техногенных накоплений (а эти случаи являются наиболее вероятными), то наиболее эффективным способом предупреждения осадок следует признать метод обжатия грунта закачиванием глиноцементного раствора через сетку ориентированных скважин или шпуров под давлением до 0,5 МПа. В качестве добавления к цементу обычно используется бентонитовая глина в количестве до 5% к весу цемента, придающая раствору большую подвижность. Назначение закачиваемого раствора в зону контакта фундамент — грунт заключается в выравнивании плотности грунта, его стабилизации, повышении несущей способности, деформативных характеристик, снижении неоднородности состояния основания.

Буровые работы по проходке скважин или шпуров осуществляются ручным буром фирмы "Хилти" диаметром от 20 до 46 мм или любой буровой передвижной установкой вращательного типа диаметром до 105 мм. Бурение скважин или шпуров через фундаменты и нагнетание через них глиноцементных растворов следует выполнять в несколько очередей (обычно в 2 очереди). При ширине фундаментов более 3,0 м работы необходимо проводить в 3 очереди. Скважины каждой последующей очереди следует бурить в пределах внутренней зоны между скважинами предыдущей очереди. Схема очередности размещения скважин показана на рис. 78.

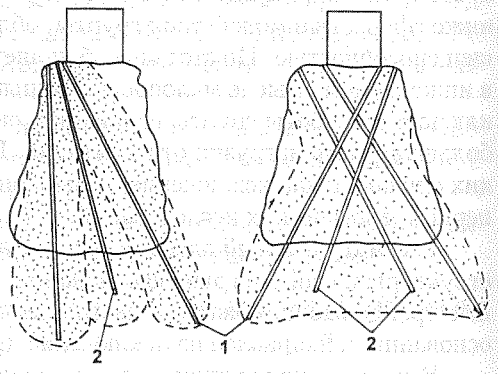


Рис. 78. Схема размещения скважин при обжатии грунта: 1 – скважины первой очереди; 2 – скважины второй очереди

Поскольку эти работы предусматривают первоначально закрепление кладки фундаментов, бурение и нагнетание раствора осуществляется сначала в пределах объема фундамента, а затем после закачивания раствора скважины добуриваются до проектной глубины. При этом длина скважины 1 очереди должна быть больше длины скважины последующих очередей и во всех случаях определяться либо длиной сгнивших свай, либо мощностью грунтов, разуплотненных в результате деструкции органики или других процессов. Однако во всех случаях эти параметры должны быть рекомендованы по результатам инженерно-геологических исследований.

Давление раствора в скважинах каждой очереди дифференцировано: в скважинах 1 очереди раствор нагнетается с минимальным давлением (0,2–0,3 МПа); в скважинах 2 очереди — 0,3–0,5 МПа ; в скважинах 3 очереди — 0,5 МПа. Закачивание цемента следует начинать при водоцементном отношении равном 10 с постепенным понижением этого показателя до 0,6.

Скважины 1 очереди, длина которых в среднем на 25% больше скважин 2 очереди, целесообразно размещать по внешним контурам

фундамента с тем, чтобы к моменту закачивания глиноцементного раствора в скважины 2 очереди иметь внешнее ограждение от возможного растекания раствора за границу зоны обжатия грунта.

Одной из главных задач при обжатии грунта под фундаментом является выравнивание плотности и снижение его неоднородности. Процесс стабилизации грунтов этим методом идет по избирательному принципу нейтрализации слабого звена и делает позволительным не стремиться к полной однородности основания и не добиваться исчерпывающего заполнения порового пространства цементным раствором.

Так, например, цементация контакта фундамент — грунт методом обжатия позволяет повысить модуль деформации песков в 1,3–1,4 раза, выравнить грунты по несущей способности и снизить неоднородность структуры основания. Но самым главным результатом этого метода является своеобразная реституция структуры первоначального свайного поля после того как раствор, заполнив стаканы от сгнивших деревянных свай и сохранив давление, раздвигает стенки стаканов, снова уплотняя грунты основания.

Именно так была решена задача стабилизации осадок Успенского собора Московского кремля в 1975 г. по проекту института "Гидроспецпроект". Успешное укрепление фундамента было достигнуто путем подбора оптимального вяжущего цементного раствора (водоцементное отношение 1,0–0,8) с добавлением бентонитовой глины в количестве 4–8% от веса цемента, которая придавала раствору пластифицирующие свойства, не снижая при этом прочность цементного камня (марка 300). Для поддержания совместимости белого камня фундамента собора к цементному раствору добавлялась известь. Подобный раствор обладает большой проникающей способностью, позволявшей при небольших давлениях (до 0,3 МПа) заполнить каверны, поры и трещины в бутовом белокаменном фундаменте.

Кроме того, принятая технология работ позволила заполнить раствором стаканы от сгнивших свай (IV стадия разложения свай). От давления раствора стаканы диаметром 3–5 см, частично заполненные инфлювием, увеличились до 7–12 см в диаметре и вторично уплотнили грунты основания. На фотографии (рис. 79) изображен фрагмент бетонной сваи, извлеченной из-под фундамента Успенского собора, на поверхности которой видны следы от сохранившейся древесины. Таким образом, одновременно с укреплением бутового фундамента удалось почти полностью "восстановить" под

собором взамен утраченных деревянных свай, сваи в новом материале в количестве около 2,5 тысяч и система вернулась в изначальное состояние, сохранив прежнюю структуру.

Эти работы проведены в пределах фундаментов глубиной 4,5 м с помощью скважин диаметром 127 мм, пробуренных под углом 60° к горизонту с шагом вдоль стен 3,0 м. Всего пробурено 64 скважины и закачено 110 м^3 раствора.

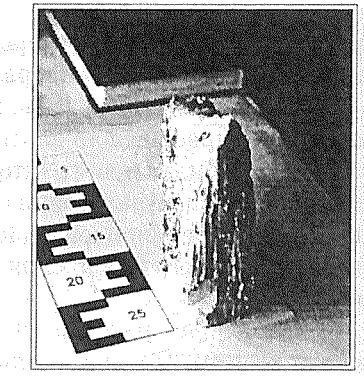


Рис. 79. Фрагмент бетонной сваи из-под Успенского собора Московского кремля

Большая проникающая способность раствора и прочность камня обеспечили выполнение поставленной цели. После завершения работ были стабилизированы неравномерные осадки и продолжавшееся до закрепления контакта фундамент — грунт развитие трещин.

Подобным образом в 1993 г. проводились работы по ликвидации дефицита несущей способности грунтов восстановленного в Москве Казанского собора, в основании которого сгнили оголовки и частично периметральная часть на остаточной длине свай. Такие же работы были проведены в 1994 г. в основании крепостных стен Новгородского детинца, территория которого характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, во многом определяющимися разнообразием свойств и параметров физического состояния подземных элементов основания (искусственная подсыпка грунта, армированная деревянными субструкциями, частично сгнившими и деформированными, наличие полостей).

В 1997–1998 гг. работа по стабилизации неравномерных осадок основания в зоне контакта фундамент — грунт проводилась на аварийных объектах Толгского Свято Введенского монастыря и Московского кремля.

В первом случае осуществлена работа по закреплению фундаментов и основания трапезной и Крестовоздвиженской церкви, в которых произошло обрушение стен и сводов в результате неравномерных осадок при гниении деревянных свай. Для нейтрализации осадок здания трапезной и храма по периметру фундаментов было пробурено 254 наклонных скважин с шагом 1,5 м, глубиной 2,2–2,6 м и

диаметром 76 мм. В скважины закачено около 270 м^3 цементно-бентонитового раствора под давлением до 0,4 МПа. Скорость нагнетания раствора составляла не более 50 л/мин и продолжалось до отказа поглощения раствора. За отказ принят нулевой расход раствора при заданном давлении, при отсутствии же отказа цементация прекращалась после закачки раствора в скважину в объеме 1,5 м^3. По окончании работ был осуществлен контроль качества цементации в двух шурфах, вскрывших не только следы тампонирования пустот в фундаментах, но и хорошую проработку стаканов от сгнивших свай.

Во втором случае были проведены работы по стабилизации осадок здания Теремного дворца Московского кремля.

За 400 лет существования Теремного дворца его основание, представленное флювиогляциальными песками и супесями уплотненными сваями, исчерпало часть своих ресурсов. В течение последних 200 лет в период активного разложения деревянных свай и осуществления надстроек, Теремной дворец стал испытывать неравномерные осадки, в результате которых в сводах и стенах дворца возникли серьезные трещины. На деформационной съемке первого этажа показаны трещины основных несущих конструкций (рис. 80). Осадки стен наблюдались НИИ оснований и подземных сооружений в течение 90-х годов и составляли 1,0–3,0 мм/год.

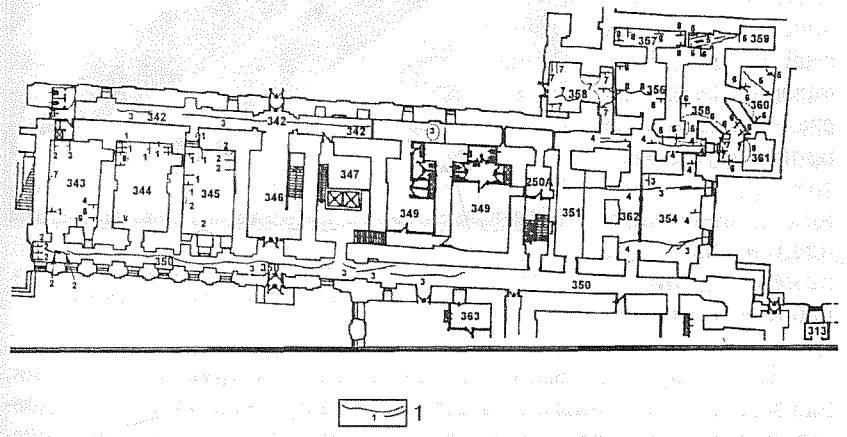


Рис. 80. Схема расположения трещин на 1-ом этаже Теремного дворца Московского кремля. 1 – трещина и ее номер для конкретного помещения

Проведенные в 1997 г. исследования подтвердили тревогу в отношении сохранения риска в обеспечении устойчивости несущих элементов Теремного дворца. После завершения исследований и разработки АО "ИГИТ" проекта, Гидроспецстроем в 1998 г. были проведены работы по закреплению фундаментов и по стабилизации осадок обжатием грунта в зоне контакта фундамент — грунт. При периметре дворца, составляющем 550 м и объеме тела фундамента около 4 тыс. м^3, с помощью 439 скважин, пробуренных через фундаменты на глубину 3–5 м, было закачено около 800 м^3 раствора (вес сухой смеси цемент + бентонитовая глина составил 460 т).

Все проведенные работы, включавшие исследования, проектирование и производство работ по цементации, были осуществлены в предельно сжатые сроки, составившие всего три месяца.

На первом этапе производства работ на опытном участке был осуществлен контроль качества цементации контакта фундамент — грунт. Результаты оказались весьма успешными. Практически была полностью осуществлена идея реституции свайного фундамента в новом материале, который не только заполнил стаканы от сгнивших свай, но и опрессовал грунты вокруг восстановленных свай. На рис. 81 показана бетонная свая, извлеченная из-под фундаментов при проведении контрольной оценки качества цементационных работ в Теремном дворце.

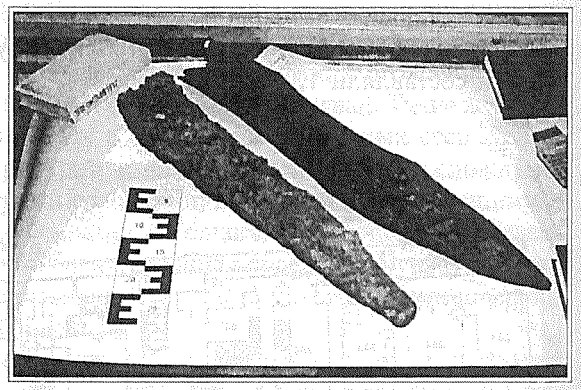


Рис. 81. Восстановленная в результате цементации контакта фундамент — грунт свая

Таким образом, цементация фундаментов и грунтов основания, благодаря совершенным технологическим процессам и вполне удовлетворительным результатам стала в настоящее время одним из основных способов укрепления и улучшения несущих элементов памятников архитектуры.

Согласно требованиям, предъявляемым к этому виду усиления фундаментов [28, 56], в его состав должны входить:

1. определение и отработка нескольких технологических схем;
2. инструментальный контроль за состоянием закрепляемого объекта;
3. контроль качества закрепления.

Технологическая схема исключения дефицита несущей способности оснований должна включать две стадии:

- закрепление фундаментов;
- усиление непосредственного основания способом создания контакта фундамент — грунт.

Контроль качества проработки грунта при его обжатии глиноцементным раствором можно осуществлять дистанционным методом, используя геофизические и гидравлические методы. Однако наиболее надежным и квалифицированным является оценка качества этих работ методом инженерно-геологической документации опытных шурфов, позволяющим наглядно и с применением полевого опробования закрепленных грунтов получить исчерпывающую информацию.

В целях соблюдения совместимости вводимых материалов при цементации фундаментов, сложенных из белокаменного бута и блоков, закрепление следует выполнять раствором с добавлением извести, в соответствии с рекомендациями [20].

Поскольку основной целью работ по выполнению контакта фундамент — грунт является ликвидация дефицита несущей способности, возникшего в результате разложения лежней и свай, то, фактически, основная задача должна заключаться в заполнении пустот от сгнивших деревянных субструкций цементным раствором под давлением, позволяющим осуществлять опрессовку грунта. При этом введение стабилизирующего раствора целесообразно выполнять под давлением 0,3–0,5 МПа. За отказ от нагнетания принимается расход Q = 2–4 л/мин в течение 10 мин, при давлении 0,3 МПа.

5.3. Создание глубинных охранных зон

Рост городов и связанное с ним увеличение масштаба антропогенных процессов приводят к тому, что в современных условиях трудно найти участки земли, не затронутые деятельностью человека. Нарастающая сила и убыстряющиеся темпы изменения человеком окружающей памятники геологической среды вызывают необходи-

мость создания режима ее охраны в сфере взаимодействия памятников архитектуры.

Сохранение и нормальное функционирование памятников русской архитектуры во многом обусловлено гармоничной связью с геологической средой, а их длительное физическое сохранение в условиях меняющейся природной среды возможно лишь при создании глубинных охранных зон.

Придание надежности основаниям и фундаментам после столь продолжительного пренебрежительного отношения к ним, нормализация их взаимоотношения с окружающими средами, должно обеспечить их длительное функционирование. Такое возможно только на базе достаточной информации, получаемой из сферы взаимодействия памятника с геологической средой и профессионального ее переосмысления.

На основании сказанного можно дать следующее определение понятия глубинной охранной зоны. Глубинная охранная зона — это искусственно созданная или естественно поддерживаемая целенаправленными мероприятиями зона, фиксирующая памятник архитектуры в первоначальном положении, сохраняющая длительную несущую способность грунтов основания и исключающая влияние факторов, изменяющих гидрогеологический режим и состояние грунтов в сфере взаимодействия памятника с окружающей геологической средой [28].

Понятие глубинной охранной зоны было введено в связи с необходимостью создания режима охраны и поддержания структуры геологической среды в сфере взаимодействия памятника методами инженерной защиты. Устойчивость памятников архитектуры прежде всего связывается с последствиями инженерно-геологических процессов, развивающихся в основаниях и в самих фундаментах, а также в надземных несущих конструкциях.

Таким образом, возникает проблема устранения, а скорее предупреждения ухудшений в состоянии грунтов оснований памятников и их несущих конструкций, являющихся неизбежным результатом процесса развития техногенеза. Решение этой проблемы не должно сдерживаться осознанием того, что развитие процессов в основании памятников протекает очень медленно. Однако, жизнь любого памятника значительно превышает временной период развития инженерно-геологических процессов в сфере взаимодействия памятников архитектуры. Поэтому основные мероприятия по управлению устойчивости памятников должны быть направлены на исключение или недопущение проявления основных техногенных процессов. Заниматься этими проблемами надо сейчас, ибо потом будет значительно труднее сдерживать и контролировать развитие антропогенных процессов, поскольку с каждым годом растет их интенсивность.

Создание глубинных охранных зон должно сознательно и целенаправленно сохранять геологическую среду в сфере взаимодействия памятников. Проекты по их созданию должны предусматривать рациональное использование территории, окружающей памятники, размещение подземных сооружений, транспорта, водохранилищ и мероприятий по укреплению оснований.

В качестве защитных мероприятий по обеспечению глубинных охранных зон памятников можно рекомендовать следующее.

1. Исключение всех видов подземного и наземного строительства, в той или иной мере влияющих на изменение состояния грунтов в сфере взаимодействия памятников архитектуры.

2. Ликвидацию утечек воды из водопроводной и канализационной сетей, способных изменить влажность грунтов основания.

3. Исключение динамических воздействий на грунты сферы взаимодействия памятников от транспорта и производства различных видов работ, создающих вибрационные нагрузки.

4. Заглубление фундаментов ниже зоны зимнего промерзания и оттаивания грунтов в случаях, если грунты подвержены морозному пучению, или ниже зоны, подверженной влиянию биологического выветривания; подъем памятников в случае их погружения в толщу техногенных грунтов или в случае опускания примыкающей территории в результате вековых осадок поверхности земли.

5. Устройство пристенных дренажей для снижения миграции влаги к промерзающим грунтам и к фундаментам, утратившим или не имеющим гидроизоляции.

6. Вертикальную планировку прилегающей территории.

7. При подтоплении территории с комплексом архитектурных памятников снижение уровня грунтовых вод с помощью стационарных дренажных систем.

8. Замену деревянных свай на бетонные или железобетонные в условиях резкого изменения гидрогеологического режима.

9. Искусственное закрепление грунтов оснований в пределах активной зоны, снизивших свою несущую способность под действием антропогенных процессов.

Фиксация сохранности памятника архитектуры является основным назначением глубинных охранных зон для создания условий обеспечения продолжительной устойчивости* оснований и фундаментов.

Структура и границы глубинных охранных зон соответствуют структуре и контурам сферы взаимодействия памятников с геологической средой и, как правило, не выходят за ее пределы. Наиболее четко определяется лишь верхняя граница глубинной охранной зоны, которой служит дневная поверхность примыкающей к памятнику территории, нижняя же граница совпадает с границей сферы взаимодействия. Наименее очерченными являются латеральные границы, которые в каждой конкретной обстановке устанавливаются на основе умозрительных построений.

Таким образом, глубинную охранную зону можно представить как элемент геологического историко-культурного пространства, операционно-выделенный с помощью логических построений, использующих несложные графические, измерительные и счетные операции.

При оценке устойчивости памятников архитектуры основным параметрическим критерием, устанавливающим границы глубинной охранной зоны, является дефицит несущей способности оснований. Количественные и качественные оценки дефицита несущей способности оснований позволяют определить масштабы и виды необходимых мероприятий по управлению состоянием оснований и фундаментов.

Использование параметрического критерия "дефицит несущей способности" важно при выявлении структуры глубинных охранных зон, поскольку это позволит оптимизировать процедуру управляющих мероприятий.

Задача инженерно-геологических исследований при ведении реставрационных работ должна заключаться в организации инженерной и геологической гармонии в сфере взаимодействия памятника, исключающей развитие техногенных процессов.

Проекты по созданию глубинных охранных зон памятников должны предусматривать рациональное использование территории окружающей памятники, сокращение движения транспорта, безопасное размещение подземных инженерных сооружений, максимальное удаление

* Поскольку в этой области деятельности полностью отсутствует нормативная и понятийная база, естественно приходится прибегать только к качественным характеристикам, исключающим установление каких-либо гарантийных сроков и фиксировании степени стабильности в результате проведения реставрационных работ.

водохранилищ и крупных зданий и разработку инженерных мероприятий по укреплению грунтов оснований памятников архитектуры.

В настоящее время отсутствуют общепринятые принципы и методы оценки опасности и геологической надежности при определении сохранности памятников архитектуры. Принято рассматривать памятники как сложные, динамические, исторические, природно-технические системы, характеризующиеся тем, что составляющие их элементы функционируют в различных условиях и определяют ту или иную степень аварийности. Кроме того, памятники архитектуры функционируют в условиях ведения хозяйственной деятельности, влекущей за собой определенные изменения экологической обстановки, влияющей на сохранность памятников.

Важное значение в специфике инженерной защиты приобретает региональный фактор, поскольку для каждого выделенного типа территории структура геологической среды имеет свои специфические особенности, обусловленные степенью сложности инженерно-геологических условий. Но тем не менее круг задач, необходимый для решения проблем сохранения, реституции геологической среды урбанизированных территорий, может иметь общий характер.

Основными принципами управления геологической средой исторических территорий являются:

1. геологическая среда должна использоваться на основе максимального раскрытия заложенных в ней полезных качеств. С нашей точки зрения, этому наиболее полно соответствует применение синергетического подхода, поскольку при этом выискивается и сохраняется наиболее оптимальная в функциональном отношении структура исторической природно-технической системы;

2. принцип приоритетов при выработке управляющих решений наиболее важен при конструктивных изменениях системы, так как использование какого-либо компонента не должно приводить к угнетению, деградации, уничтожению имеющих более высокий ранг качества элементов системы;

3. принцип компромисса позволяет при трансформации исторической территории не снижать уровень комфортности среды обитания различных памятников архитектуры, предъявляющих свои требования к свойствам геологической среды.

Сохранение условий динамического равновесия системы "памятник — геологическая среда" должно поддерживаться средствами инженерной защиты. К сожалению, перечень инженерных защитных

мероприятий достаточно ограничен и может быть разделен на следующие виды:

1. геотехнические (конструктивные, физико-химические и т.п.);
2. гидрогеотехнические (управление влажностным режимом грунтов с помощью дренажей и отмосток из дискретных покрытий, вертикальная планировка, отсечная гидроизоляция и гидрофобизация фундаментов и т.д.);
3. комплексные (создание глубинной охранной зоны, подъем памятников архитектуры).

Обеспечение глубинной охранной зоны, как уже отмечалось, является наиболее приемлемым видом инженерной защиты памятников архитектуры. Использование комплексной инженерной защиты, направленной на создание глубинной охранной зоны, оптимизация режима функционирования которой немыслима без достаточной по набору и нацеленности информации инженерно-геологического характера по оценке опасности и интенсивности процессов техногенных изменений в сфере взаимодействия.

Стихийно формируемое функционирование исторических природно-технических систем спровоцировало сложные условия сохранения архитектурного наследия. Поэтому решение задач инженерно-геологического обеспечения инженерной реставрации, должно строиться на основе оптимизации параметров, в зависимости от сведений по структуре конструктивных элементов (фундаменты), типологии памятников архитектуры, от выбора вида инженерной защиты [32] и от специфики инженерно-геологических условий.

Латентный характер протекания инженерно-геологических процессов требует, при разработке глубинных охранных зон, анализа факторов, изменяющих равновесие между различными элементами системы и проектирования коррекции самоорганизации щадящими ее историко-культурную ценность методами.

Примером создания глубинной охранной зоны может служить комплекс мероприятий, предусмотренных для стабилизации неравномерных осадок и наклона Невьянской башни на Урале высотой 54 м (рис. 82). По данным инженерно-геодезических наблюдений, проводимых с 1962 г., башня оседает со скоростью 0,9 мм в год из-за уплотнения слабых грунтов основания. Отклонение вершины башни от центра основания составляет 1809 мм (рис. 83). В пределах четверика отклонение оси от вертикали составляет 3°, первого восьмерика — 0,5°, второго — 1,0°, третьего — 0,8°.

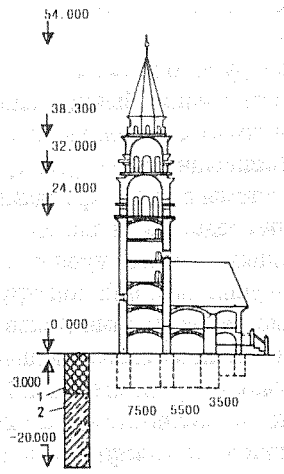


Рис. 82. Невьянская башня:
1 – техногенные грунты;
2 – аллювиально-делювиальные отложения

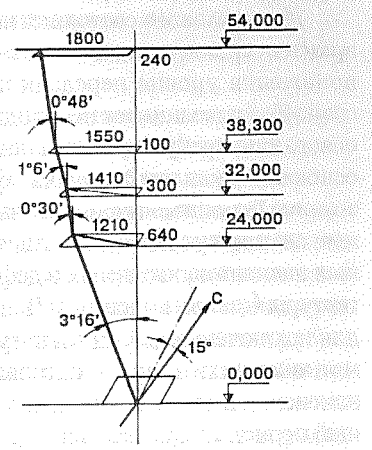


Рис. 83. Отклонение ярусов Невьянской башни от вертикальной оси

Стабилизация неравномерных осадок башни предполагает исключить проявление неблагоприятных факторов в сфере ее взаимодействия: 1) снижение высокого уровня вибрации, создаваемых железнодорожным транспортом, путем переноса подъездных путей, расположенных на расстоянии 20–25 м от башни; 2) устранение условий для выноса мелкозернистых песчаных частиц (механическая суффозия) и ослабления грунтов основания путем прекращения откачки грунтовых вод из расположенного вблизи башни зумпфа; 3) предотвращение дальнейшего разрушения цокольной части башни путем понижения на 1 м поверхности земли вблизи башни и организация поверхностного стока воды [51].

5.4. Усиление фундаментов и оснований с помощью буроинъекционных и вдавливаемых свай

В связи с реконструкцией старых городов, их центральных районов и реализацией планов по подземной урбанизации городских территорий часто возникает необходимость передачи в новых условиях

нагрузок на большую глубину, тем самым обеспечивая сохранность памятников архитектуры.

Из-за плохого состояния несущих конструкций многих памятников архитектуры исключается возможность применения обычных способов понижения уровня передачи нагрузки на грунт с помощью забивных свай. Когда возникает необходимость стабилизации структуры грунтов оснований, требующих создания единой системы стена — фундамент — основание, то в этих случаях эффективным средством является использование буроинъекционных свай. В отдельных случаях буроинъекционные сваи могут использоваться в качестве усиливающих конструктивных элементов, вводимых в деформируемые элементы памятников архитектуры (стены, колонны). Чаще буроинъекционные сваи используются для исключения дефицита несущей способности грунтов оснований памятников архитектуры, который появляется в результате значительных изменений в сфере взаимодействия памятников архитектуры за длительный период их существования.

Буроинъекционные сваи представляют собой буровые сваи малого диаметра, заполненные цементным раствором под давлением от 3 до 6 атм, располагаемые практически под любыми углами к дневной поверхности и способные образовывать стенам и фундаментам совместно с грунтом единую систему. На рис. 84 показана схема установки буроинъекционных свай, одновременно усиливающих стены, фундаменты и грунты основания.

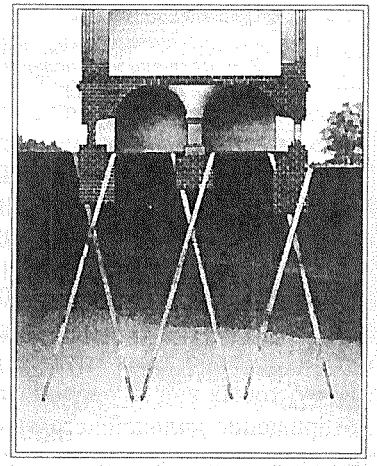


Рис. 84. Схема установки буроинъекционных свай

За счет давления при подаче раствора в скважину происходит некоторое увеличение диаметра сваи (до 10–20%), неравномерное по ее длине, вследствие чего значительно увеличивается трение материала сваи по грунту. Буроинъекционные сваи могут устанавливаться по нескольким схемам: одиночные, кустовые, козловидные.

Проходка ствола скважин осуществляется буровыми станками вращательного или пневмоударного бурения. В качестве рабочего органа служат буровые коронки, армированные победитом, шарошечные или крестовые долота. Для бурения могут быть использованы высокопроизводительные дизельные станки и менее производительные, но малогабаритные станки с электроприводом, приспособленные для производства работ в подвалах высотой до 2-х метров и стесненных условиях.

При бурении в неустойчивых грунтах (супеси, пески) стенки скважин крепятся обсадными трубами соответствующих диаметров. В этих случаях обсадные трубы выполняют роль бурильных труб.

Бетонирование свай производится через подающие раствор трубы диаметром 18–60 мм, в зависимости от диаметра скважины, под давлением 0,29–0,58 МПа с одновременным, по мере заполнения скважины, подъемом обсадных труб. Давление, при котором подается раствор, определяется сопротивлением при подаче раствора по трубам и необходимостью придания профилю сваи корневидности и обеспечения монолитности ее ствола.

В отдельных случаях применяется опрессовка скважин воздухом, что позволяет создавать вздутие свай (например, под укрепляемым фундаментом).

Диаметры буроинъекционных свай принимаются от 89 до 280 мм, длина свай может колебаться в пределах от 7 до 40 м и определяется геологическими условиями, характером сооружения и величиной нагрузки.

Сваи выполняются как с армированием, так и без армирования. В качестве арматуры используется одиночная арматура диаметром 12–16 мм. В отдельных случаях в скважинах оставляют обсадные трубы для подачи раствора, которые выполняют роль арматуры. Расстояние между сваями определяется как функция нагрузки и несущей способности сваи. Минимальное расстояние между сваями назначается в пределах 3–5 диаметров свай.

В проектах, на основе имеющихся сведений о геологическом строении участка, назначаются диаметры свай, их количество, нагрузка на сваю, конструкция опорной части, армирование свай.

Наиболее ответственным параметром буроинъекционных свай является допустимая нагрузка на сваю, которая определяется в результате статических испытаний. Так, по результатам испытаний свая диаметром 100 мм (по обсадной трубе) длиной 7,0 м, установленная в аллювиальных песках, выдерживает нагрузку до 22–25 т. При принимаемом коэффициенте запаса 2,5–3,0 расчетная нагрузка на сваю в этом случае составит 10 т.

Буроинъекционные сваи практически исключают осадку памятника. Для введения в расчеты коэффициента безопасности принимается допустимая осадка не более 10 мм, полученная по данным статических испытаний. Так, по данным опытных испытаний на буроинъекционные сваи диаметром 120 мм, длиной 15 м передавались нагрузки до 50 т, а на сваи диаметром 200 мм — до 100 т. Осадка свай при этом составляла от 3 до 12 мм [21].

Надежных методов расчета несущей способности буроинъекционных свай нет. Обычно при выборе инженерно-технических характеристик используют аналоговые данные, что при большом объеме их применения в различных инженерно-геологических условиях является вполне приемлемым.

Применение буроинъекционных свай в практике реставрационных работ имеет ряд преимуществ, как в отношении несущей способности, так и в проявлении меньших динамических нагрузок при их устройстве на несущие конструкции памятников. Применение буроинъекционных свай при реставрации памятников архитектуры заключается в возможности одновременного усиления старых фундаментов, стен и грунтов оснований [21]. В отечественной практике подобные реставрационные работы были проведены при укреплении по "козловой" схеме фундаментов и грунтов оснований старого здания Московского Художественного театра им. А.П. Чехова.

По периметру всех несущих стен было установлено свыше 400 буроинъекционных свай глубиной до 16–18 м. Сваи диаметром 168 мм устанавливались в скважины, пробуренные станком СБР-500 с промывкой глинистым раствором. Нижние концы свай опираются в плотные юрские глины, сами сваи размещены в толще переслаивающихся песков и супесей четвертичных отложений (надпойменная терраса р. Москвы).

Объединенные в одну систему фундамент, стены и железобетонный воротник, опоясывающий стены на уровне пола 1 этажа, удалось создать своеобразный ростверк, который позволил вывесить на буроинъекционных сваях все здание МХАТа. При такой передаче нагрузок от здания на толщу юрских суглинков, посредством системы буроинъекционных свай, здание не будет зависеть от неравномерных осадок дневной поверхности, которая ранее приводила к деформации несущие стены памятника. Это вполне надежный способ управления устойчивостью памятника архитектуры во времени, поскольку изменения состояния и свойств грунтов, подстилающих фундамент МХАТ

(аллювиальные пески и супеси), не смогут повлиять на его сохранность.

Подобным образом проводились работы по укреплению несущих конструкций памятника архитектуры XVII века — палат Сверчкова в Сверчковом переулке г. Москвы. Работы выполнило объединение "Росреставрация".

Наряду с буроинъекционными сваями, задачу стабилизации неравномерных осадок памятников архитектуры можно решать с помощью вдавливания свай под подошвой фундаментов. Метод состоит в погружении свай под фундаментами или под рандбалками, введенными в ниши и своды подвальных помещений, с помощью упирающихся в них через распределительные траверсы домкратов. Нагрузкой, вдавливающей сваю, служит масса здания памятника. Вдавливаемые сваи представляют собой металлические секционные трубы, наращиваемые по мере погружения и заполняемые бетоном. Шаг вдавливаемых свай зависит от условий производства работ, но в среднем составляет 2–3 м.

Преимуществом этих свай по сравнению с буроинъекционными является уплотнение грунта без передачи на него динамических нагрузок. За счет обжатия грунтов при вдавливании свай нормативные давления на грунты основания могут быть повышены в среднем на 20–30%.

Метод вдавливания свай позволяет решить задачу в сложных геологических и гидрогеологический условиях, когда отсутствует полная информация о строении, состоянии, характере чередования слоев и линз грунтов, разных по составу и свойствам, и когда примерно известна глубина, на которой залегают плотные грунты, способные служить своеобразной базой для опирания вдавливаемых свай. В этом случае, при наличии указанных неопределенностей, о работоспособности сваи можно судить по усилию, приложенному на сваю при ее вдавливании. Некоторое ограничение на этот метод накладывает глубина залегания плотных грунтов, на которые должна передаваться основная нагрузка от сваи. При глубине залегания таких грунтов более 20 м метод становится неконкурентноспособным, например, с буроинъекционными сваями.

Метод вдавливания свай диаметром 299–351 мм и длиной до 16 м был успешно применен для стабилизации неравномерных осадок Потешного дворца Московского кремля инженером Генделем Э.М. в 1975 г. Непосредственной причиной этих осадок явилось ак-

тивное разложение органических остатков в 12-метровой толще культурного слоя в результате изменения гидрогеологических условий на этой территории кремля, в связи со строительством Дворца Съездов.

Для стабилизации здания Строгановской церкви в Нижнем Новгороде от периодически проявляющихся вертикальных перемещений и от возможных горизонтальных смещений, поскольку храм стоит на оползневом участке Окского правобережья, к.т.н. Ковалем Ю.А. в 1997 г. был использован метод устройства свай вдавливания по всей площади памятника, с последующим устройством и опиранием на них монолитной железобетонной плиты толщиной 400–600 мм. Эта плита, выполняющая функции ростверка, была заведена в штрабы, подготовленные по всему внутреннему периметру стен.

При выполнении этой задачи автор впервые использовал заведенные в тело фундаментов переносные металлические рандбалки, для создания реактивных усилий при вдавливании свай. Рандбалки, с учетом создаваемых реактивных усилий, устанавливались в поперечном, а в ряде случаев продольном по отношению к длинной оси памятника направлении с шагом 1,0–1,5 м. Под каждой рандбалкой сваи вдавливания диаметром 159 мм размещались с шагом 1,0–1,5 м. Глубина вдавливания свай составляла 5,0–9,0 м. Трубчатые сваи вдавливались на длину патрубков до 3,0 м. По окончании вдавливания полости труб заполнялись бетоном. Для вдавливания свай были использованы домкраты грузоподъемностью от 35 до 60 т.

Эффективность повышения надежности закрепления фундаментов, подвергшихся выветриванию, частичному разрушению из-за неравномерных осадок в результате гниения деревянных свай и проявлению других процессов, зависит от правильного выбора технологической схемы работ. Такой подход предусматривает выбор соответствующего оборудования, материалов, параметров производства работ с учетом особенностей состояния фундаментов и примыкающей к ним геологической среды.

Из рассмотренных двух видов свайных фундаментов предпочтение следует отдать сваям задавливания, как более технологичным по устройству и включения в работу вводимых несущих элементов, а также в связи с тем, что при устройстве этих свай происходит улучшение состояния грунтов за счет их уплотнения и полностью исключаются вибрационные нагрузки.

5.5. Подъем памятников архитектуры

Убыстряющиеся темпы изменения окружающей памятники архитектуры среды, связанные с техногенными и природными воздействиями на поверхностную инфраструктуру, в течение их длительной истории существования, диктуют необходимость проведения "реинтеграции" как метода инженерной защиты, направленного на поддержание художественной и эксплуатационной ценности, и обеспечение дальнейшего существования памятника.

Нарушение соотношения архитектурных элементов памятников, в связи с вертикальными перемещениями поверхности земли, приводит не только к диспропорции при их восприятии, но и к созданию крайне нежелательных физических условий для их сохранения в состоянии частичного погребения культурным слоем на 1,5–3,0 м.

В последние десятилетия на территории исторических центров старых городов активизировались вертикальные перемещения поверхности земли, вызванные строительной деятельностью человека, резким изменением гидрогеологических условий, развитием транспортных магистралей в исторических центрах городов и т.д. Наряду с этими изменениями имеются изменения, накопившиеся за длительную историю существования памятника. Таковы: подъем уровня насыпных грунтов, которые скрывают цоколи и первые этажи зданий и приводят к переувлажнению их стен (рис. 85); "вековые осадки", связанные с длительным уплотнением относительно слабых грунтов основания. Реже можно встретить понижение территории памятника, вызванное неотектоническими процессами. Например, погружение собора Мирожского монастыря в Пскове со скоростью 2–3 мм в год, в результате вертикальных перемещений вниз структурно-тектонического блока, в пределах которого размещен монастырь, привело за 800 лет его существования к учащающимся затоплениям паводками р. Великой [51].

Нарушение вертикального соотношения архитектурных и конструктивных элементов памятников архитектуры в связи с вертикальными перемещениями поверхности земли приводит не только к диспропорции их зрительного восприятия, но и к созданию крайне нежелательных условий для их эксплуатации и сохранения.

Широко используемый в подобных случаях метод понижения уровня земли до первоначальных отметок имеет целый ряд существенных недостатков: увеличивает долю инфильтрационного пита-

ния; не устраняет переувлажнение нижней части памятника; не обеспечивает улучшение эстетического восприятия; требует перекладки подземных коммуникаций и специального использования мер гидротехнической защиты, приводит к замусориванию территории. На приведенных ниже иллюстрациях показаны основные недостатки созданных понижений вокруг памятников архитектуры XVI–XVIII в.в., главный из которых состоит в бесточности организованных понижений и поступления к памятнику дополнительного объема атмосферных осадков, за счет стока с поверхности обратных уклонов (рис. 86). Это приводит к локальному подтоплению, появлению высолов, развитию морозного пучения и захламлению территории. На рис. 87 видны проявления морозного пучения, которые в конечном итоге привели к отступлению от горизонтального положения восточного столба северного крыльца ц. Николы за Берсеневой решеткой (1625 г.) и нарушению геометрии висячей подковообразной арки.



Рис. 85. "Вековое" погружение памятника в толщу техногенных грунтов



Рис. 86. Гранатный двор, XVI в. (Москва, Спиридоньевский пер.). Обратные уклоны, приводящие к поступлению дополнительного объема атмосферных осадков

Рядом с церковью в середине XVII в. думный дьяк Аверкий Кириллов построил

палаты, оказавшиеся с тех пор на 1,5 м ниже сегодняшней дневной поверхности. Стесненность примыкающей территории привела к тому, что понижение современного уровня поверхности было выполнено в виде узкой щелеобразной траншеи, ставшей накопителем атмосферной влаги и приведшей, в конечном итоге, к полному разрушению бетонной отмостки и переувлажнению цоколя здания памятника (рис. 88).

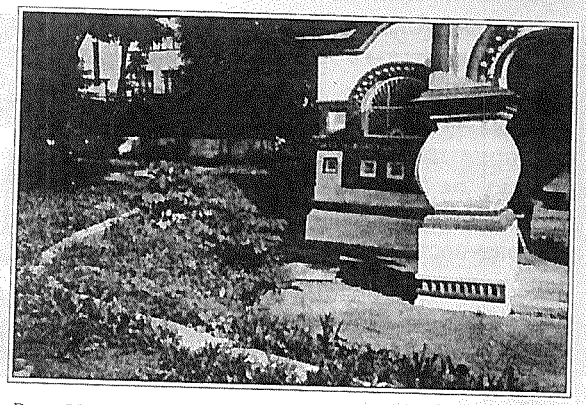


Рис. 87. Деформация крыльца ц. Николы за Берсеневой решеткой в результате пучения

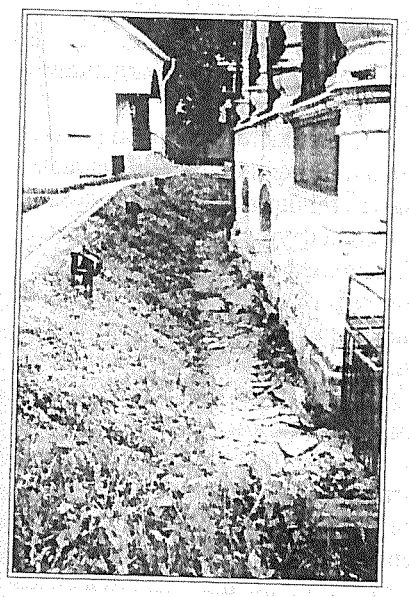


Рис. 88. Разрушение отмостки от переувлажнения грунта

На рисунке 89 показана отреставрированная в 70-е годы ц. Зачатия Анны в Углу (XV–XVIII вв.). Мощность культурного слоя в Зарядье достигает максимальной величины, в связи с чем памятник за пять столетий оказался погруженным в его толщу до 2,0 м. Освобождение от накоплений культурного слоя привело к тому, что созданное вокруг памятника понижение стало накопителем атмосферных вод, влияние которых весьма негативно сказывается на сохранности его конструкций.

Кроме того, не всегда тактично решается вопрос компромисса между различными видами памятников, что подчас наносит ущерб сохранению археологических объектов. Вполне очевидно, что подобные

меры неизбежно ведут к проведению в будущем дополнительных защитных мероприятий, поскольку не ликвидируют угрозу для долговечности здания в целом или отдельных его элементов.

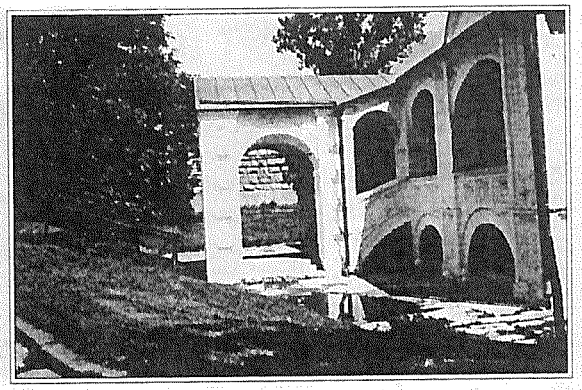


Рис. 89. Церковь Зачатия Анны в Углу. Понижение территории служит накопителем атмосферных осадков

Разнообразие свойств и параметров физического состояния подземных элементов памятника и наращивание мощности культурного слоя обуславливает необходимость менять традиционные методы сохранения и поддержания архитектурного наследия, а также вызывает необходимость применения различных технологических вариантов инженерной защиты с обязательным инженерно-геологическим сопровождением и проведением опытно-производственного этапа работ.

К сожалению, сохранение памятников архитектуры при реставрации, как правило, не распространяется на их фундаменты. Исключение составляют случаи, когда фундамент становится археологическим объектом. В случае, когда памятник архитектуры нуждается в выведении из неблагоприятных условий, вполне допустимым является вертикальный подъем памятника. Данный метод защиты имеет важное значение в структуре охраны памятников, поскольку призван отдалить угрозу разрушения здания и способствовать его долговечности.

Для осуществления подъема памятника применяются гидравлические или гидровинтовые домкраты грузоподъемностью до 2500–3000 кН, расстояния между домкратами назначаются в зависимости от массы памятника и принимаются в среднем от 6 до 10 м. Перед подъемом здания по периметру стен устанавливается железобетонный пояс, под которым в кирпичной кладке стены пробиваются сквозные гнезда для домкратов. Подъем осуществляется непрерывно на

высоту хода поршня домкрата. Равномерность подъема обеспечивается применением системы водяной нивелировки.

Метод подъема памятника позволяет восстановить первоначальный архитектурных облик (рис. 90), создать оптимальный температурно-влажностный режим, улучшить свойства грунтов основания (так как при производстве работ фундаменты вдавливаются и уплотняют грунт), проводить качественную и надежную гидроизоляцию, делать проветриваемое подполье. Он является одним из наиболее перспективных методов реинтеграции исторических архитектурных комплексов в условиях современной окружающей среды за счет своей высокой технологичности.

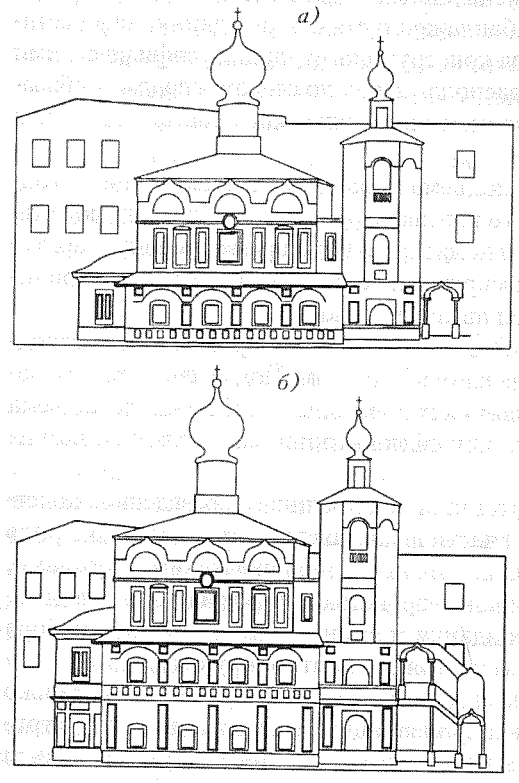


Рис. 90. Восстановление первоначальных пропорций ц. Всех Святых что на Кулишках с помощью подъема:
а – памятник до подъема;
б – памятник после подъема

Технология подъема памятников архитектуры предусматривает проведение следующих операций.

1. Проведение обследования основания памятника, включая определение физико-механических свойств грунтов для оценки дефицита несущей способности грунтов основания памятника с учетом возможного возникновения дополнительных напряжений при подъеме здания, изучение состояния и прочностных характеристик фундаментов, стен, сводов и напряженного состояния конструкций здания памятника.

2. Разработку технологии поднятия памятника архитектуры, предусматривающую:

а) двухстороннее обнажение заглубленных стен и частично фундаментов, по периметру сооружения и его внутренних конструкций для устройства опорной железобетонной подушки под подъемные устройства. Указанные работы должны производится с участием археологической службы;

б) укрепление основания, фундаментов и стен памятника в зоне ослабленных мест, выявленных в процессе обследования. Установка временных бандажей и стяжек по зданию; осуществление мониторинга за конструкциями здания геофизическими методами в точках, располагаемых по стенам, сводам, с обязательным районированием энергетического состояния стен и конструкций;

в) после первого этапа подъема проведение горизонтальной гидроизоляции вскрытого контакта фундамента с возводимой стеной подвальной части памятника. Одновременный цикл подъема объекта всеми домкратами составляет 0,1 мм и контролируется и управляется автоматически;

г) подъем памятника на заданную величину производиться заходками, которые определяются проектом. Подведение стен сопровождается устройством их гидроизоляции. В процессе подъема осуществляется постоянный мониторинг за состоянием памятника;

д) омоноличивание контакта стен памятника с возведенной конструкцией подвальной части выполняется инъекцией, контроль заполнения швов осуществляется геофизическими методами. Нагрузки на подъемных устройствах, деформации и напряжения в конструкциях здания при инъекции и в период набора прочности раствором постоянно контролируются.

В частности, подъем памятников позволяет проводить не только качественную и надежную гидроизоляцию, но и создавать проветриваемое подполье, получать в ряде случаев дополнительную площадь за счет встраивания подвального этажа, осуществлять в более свободном режиме вертикальную планировку, максимально сохраняя накопления культурного слоя и наиболее ценные породы деревьев, растущие в зоне охраняемого ландшафта.

Целесообразность и возможность сохранения памятников архитектуры с помощью их подъема подтверждается мировым опытом. Так, например, в 1969 г. во Франции была организована специализированная фирма для выполнения работ по подъему памятников архитектуры, которая сохранила с помощью этого метода целый ряд памятников, среди которых такие, как церковь Санкт-Стефан в Люнвиле, Санкт-Жульен в Париже и др. В 1987 г. при реконструкции этой фирмой здания старинной мэрии Витри-сюр-Сен, весом 1300 тонн, с помощью трех групп гидравлических домкратов памятник был поднят на 1,0 м. В том же году в Шиноне из-за паводков р. Вьенны было поднято 23 гидравлическими домкратами здание памятника весом 160 тонн на высоту 0,8 м.

Комплекс работ по подъему памятников охватывает:

1. обследование технического состояния памятников;
2. инженерно-геологические исследования грунтов оснований;
3. разработку проекта подъема;
4. усиление конструкций памятника для его адаптации к условиям подъема;
5. операцию подъема;
6. организацию службы слежения и контроля за поведением здания при подъеме.

5.6. Усиление основания с помощью химического закрепления грунтов

Для восстановления дефицита несущей способности грунтов в основании памятников архитектуры, возникшего в результате развития различных инженерно-геологических процессов, наиболее эффективным способом является заполнение порового пространства грунтов твердеющими растворами. Как показал многолетний опыт укрепления грунтов в основании памятников архитектуры, наиболее надежными являются химические способы закрепления с использованием растворов силиката натрия и различных полимеров (синтетические смолы).

При химическом закреплении грунтов протекает комплекс физико-химических процессов, обусловленных, с одной стороны, свойствами вводимых в грунты агентов, и с другой стороны — свойствами самих грунтов, обладающих различным составом, структурой и находящиеся в разном состоянии.

Как показывает практика проведения подобных работ, лучшие результаты закрепления грунтов химическими технологиями получаются при стабилизации песчаных грунтов с включением глинистых частиц каолинитового состава.

В результате этих процессов между реагентами, нагнетаемыми в грунты, и между реагентами и элементами, содержащимися в грунтах, образуются нерастворимые осадки и гели, которые практически не могут быть подвергнуты деструкции или расщеплению на исходные компоненты. Эти соединения представляют собой химически инертные вещества, стойкие к биологическим воздействиям. Благодаря этому они образуют хорошую основу упрочненного грунта и обеспечивают долговечность искусственному основанию памятников архитектуры.

В практике технической мелиорации грунтов оснований памятников архитектуры наибольшее распространение при закреплении различных по гранулометрическому составу песков получили методы поочередного закачивания в скважины растворов силиката натрия и хлористого кальция с добавлением фосфорной или кремнефтористоводородной кислоты. При применении указанных кислот этот метод закрепления можно широко использовать при значительном содержании в грунте гумуса. В результате реакции между вводимыми в поры грунта реагентов образуется гель кремниевой кислоты, придающей грунтам водонепроницаемость и повышающий их прочность до 2–6 МПа [42].

С 1956 г. НИИ оснований и подземных сооружений применяет способ закрепления песчаных и лессовидных грунтов растворами карбомидной смолы. Укрепление грунтов этим способом основано на свойстве карбомидной смолы под действием кислот (соляной, щавелевой) или щелочей образовывать прочные и водонепроницаемые гелеобразные соединения, омоноличивающие несвязные грунты. Закрепление, например, мелкозернистых песков этими растворами обеспечивает им прочность до 5–6 МПа [42].

Ниже приводятся примеры, иллюстрирующие успешное использование химических способов закрепления грунтов в основании некоторых памятников архитектуры.

Здание Арсенала в Московском Кремле. Это самое большое по размерам сооружение на территории Московского кремля. В плане оно представляет собой равнобедренную трапецию. Длина большей стороны здания, примыкающей к кремлевской стене, 303 м. Поперечная длина стен здания 80 м, высота — 24 м. Строительство здания было закончено в 1736 г.

Фундаменты здания ленточные, сложены из грубоотесанных прямоугольных известняковых блоков на известковом растворе. Ширина

фундаментов изменяется от 2,3 до 4,5 м. Глубина заложения подошвы фундаментов изменяется от 8–9 м в западной части, до 4–6 м в восточной части здания.

В основании сооружения залегают древнеаллювиальные пески средней крупности и мелкие слабовлажные мощностью 1–3 м. Ниже залегают моренные отложения, представленные суглинками с включениями гравия, щебня и гальки. В основании западной части здания, примыкающей к кремлевской стене, залегает толща насыпных грунтов мощностью до 10 м, представленных мелкими песками с включением гальки, гравия и перегноя.

За годы существования здания оно испытало значительные по величине неравномерные осадки, сопровождавшиеся образованием крупных трещин. Осадки здания были связаны с гниением органики в толще насыпных грунтов и последующим их уплотнением.

Для прекращения дальнейшего развития осадок были проведены работы по закреплению этих грунтов растворами на основе силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты. В состав работ по предотвращению осадок здания входили цементация контакта фундамент — грунт и химическое закрепление грунтов основания.

Цементация контакта фундамент — грунт проводилась с целью заполнения пустот, образовавшихся в результате разложения органических примесей насыпного грунта и неравномерных осадок здания. Цементация проводилась глиноцементными растворами с водоцементным отношением 0,8–1,0 и добавлением бентонитовой глины в количестве 4–8% от веса цемента, давление раствора составляло 0,4 МПа. За отказ нагнетания принимался расход 2 л/мин при указанном давлении в течение 10 мин.

В состав работ по химическому закреплению грунтов входило бурение скважин в пределах фундаментов, забивка инъекторов в грунты основания, инъекция химических растворов.

Бурение скважин осуществлялось станками вращательного действия с обсадкой трубами в толще насыпных грунтов. Забивка инъекторов производилась колонковым перфораторам на проектную глубину с последующим извлечением их гидродомкратом грузоподъемностью 10 т. Инъекция раствора осуществлялась двумя порциями с предварительной обработкой грунта кремнефтористоводородной кислотой с объемным весом 1,08 г/см^3 при давлении до 1 МПа и расходом до 10 л/мин. За отказ нагнетания принимался расход менее 1 л/мин при указанном давлении в течение 10 мин.

Контроль качества проведенного закрепления грунтов осуществлялся с помощью контрольных скважин и шурфов и дал положительные результаты — прочность закрепления грунтов на одноосное сжатие составила 0,5–1,6 МПа, гумусированные грунты оказались в достаточной мере пропитаны химическими растворами.

Общее количество закрепленного грунта составило 33 тыс. м^3. Контрольное нивелирование после проведенных работ показало полную стабилизацию осадок здания Арсенала, составлявших ранее 3–3,3 мм/год.

Церковь Ризоположения в Московском кремле. Здание церкви построено в XVв. и представляет собой двухъярусное сооружение с размерами в плане 17х16 м. Несущими конструкциями являются наружные стены и четыре столба. Фундаменты под стенами ленточные, под столбами — одиночные прямоугольной формы. Заложение фундаментов под стенами 3,5 м, под столбами — 4,5 м. Ширина подошвы фундаментов изменяется от 1,5 до 3 м.

Основанием здания служат разнозернистые (от пылеватых до гравелистых) неоднородно сложенные, древнеаллювиальные пески, подстилающиеся флювиогляциальными песками.

Причиной деформации церкви послужило образование разуплотненных зон от сгнивших уплотнительных деревянных свай под подошвой фундаментов. Для ликвидации неравномерных осадок были применены растворы на основе карбомидной смолы и щавелевой кислоты.

Инъекция растворов производилась через горизонтально установленные

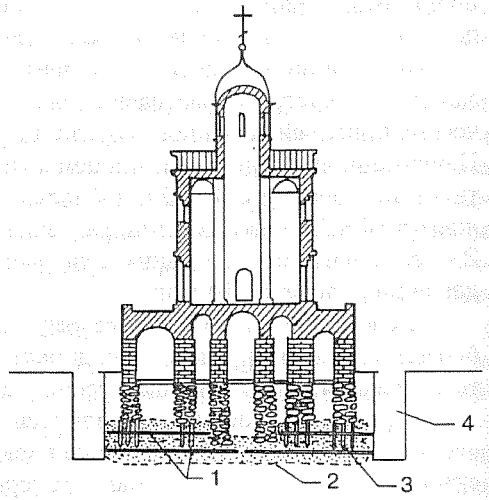


Рис. 91. Закрепление грунтов в основании ц. Ризоположения в Московском кремле: 1 – инъекционные колонны; 2 – граница закрепленного грунта; 3 – закрепленный грунт; 4 – шахта

манжетные колонны диаметром 56–70 мм, которые собирались из отдельных секций металлических толстостенных перфорированных труб. Работы по задавливанию манжетных колонн и инъекции растворов производились из специально пройденных шахт диаметром около 3 м. Закрепление грунтов осуществлено с помощью трех рядов инъекционных колонн в виде трехметровой плиты (рис. 91). Всего в основании здания было закреплено 900 м^3 грунта. Перед закреплением грунтов была проведена цементация фундаментов и контакта фундамент — грунт глиноцементным раствором в объеме 32 м^3. После проведения работ осадки здания памятника прекратились.

Набатная башня Московского кремля. Это единственная кремлевская башня, которая была встроена в конце XV в. в готовый участок стены. Поэтому для нее был построен фундамент в виде сплошной каменной плиты размером 8,5х8,6 м с глубиной заложения 7,2–8,2 м. Высота фундаментной плиты, выполненной из обломков известняка на известковом растворе, составляет 3,0 м. Основанием плиты служат древнеаллювиальные пески.

Неравномерные осадки башни привели к отклонению верха башни к востоку на 0,82 м.

Для предотвращения неравномерных осадок было выполнено закрепление песков растворами на основе жидкого стекла и кремнефтористоводородной кислоты. Объем закрепленного грунта составил около 2,7 тыс. м^3. Перед закреплением грунтов выполнили цементацию по методу контакта фундамент — грунт в объеме 486 м^3.

Здание МХАТ им. А.П.Чехова. Для закрепления песчаных грунтов в основании портальной стены театра с целью снижения бокового давления на несущие стены подвального помещения, разработанного методом "стена в грунте", была использована смолизация грунтов. Смолизацией достигнуто омоноличивание песчаных грунтов закачиванием через инъекторы карбамидной смолы (крепитель М) и щавелевой кислоты. Буровой установкой КБУ-50 было пробурено 1118 пог. м скважин, через которые закачали около 540 т реагентов. Объем закрепленных грунтов составил 1973 м^3.

По такой же технологии было закреплено основание Малого зала Московской консерватории.

Воскресенский монастырь в Угличе. Здания монастыря были построены в 70-е годы XVII в. на берегу Волги на мелких аллювиальных песках, для увеличения несущей способности которых древ-

ние строители усилили их деревянными сваями. Однако, уже через столетие в постройках монастыря стали появляться первые деформации, развитие которых в течение второго столетия привели их в аварийное состояние. В начале XX в. Б. Эдинг, выражая опасение за возможность сохранить постройки монастыря писал: "близко время, когда только куча кирпичей будет указывать на существование здесь памятника архитектуры XVII столетия" [49].

Простояв в таком состоянии еще полвека, Воскресенский монастырь начал активно разрушаться по окончании строительства Угличской ГЭС, когда сосредоточенным обходным фильтрационным потоком стали разрушаться стенки стаканов от сгнивших свай, что вызвало значительные неравномерные осадки самого крупного сооружения монастыря — Воскресенского собора. Для предотвращения дальнейшего развития деформаций собора срочно были проведены работы по закреплению песков основания смолами с примесью крепителя М и соляной кислоты (КМ — 96%, HCl — 4%). Выбранная пропорция реагентов позволила обеспечить необходимое время гелеобразования для закрепления грунтов в условиях быстрого грунтового потока обходной фильтрации. Общий объем закрепленного грунта составил 3500 м^3, а его прочность, доведенная до 3 МПа, полностью исключила осадки собора.

Однако обследование ряда зданий памятников архитектуры, основания которых в разные годы были закреплены химическими материалами показали, что через 15–20 лет в ряде случаев эффективность результатов резко снижается и возобновляются деформации. Это может быть связано прежде всего с неоднородностью грунтового массива, которая определяет разнообразный характер закрепления грунтов, а также может быть обусловлена технологическими особенностями инъецирования: ограниченным и невыдержанным радиусом закрепления, ограничениями при выборе давления, неопределенностью проникающей способности грунтов и т.п.

Обследования Воскресенского монастыря в г. Угличе, церкви Двенадцати апостолов в Московском кремле, где в 60–70-е годы были проведены работы по химическому закреплению подтвердили, что состояние памятников в настоящее время не отвечает заданным в проекте закрепления требованиям. Раскрылись заделанные после стабилизации трещины, появились новые трещины, наблюдаются неравномерные осадки по деформациям валиков и карнизов.

На фотографии (рис. 92) заметны возникшие в последние годы трещины на стенах и наличниках окна второго этажа трапезной палаты Воскресенского монастыря в Угличе, который был стабилизирован с помощью смолизации грунтов основания в начале 70-х годов.

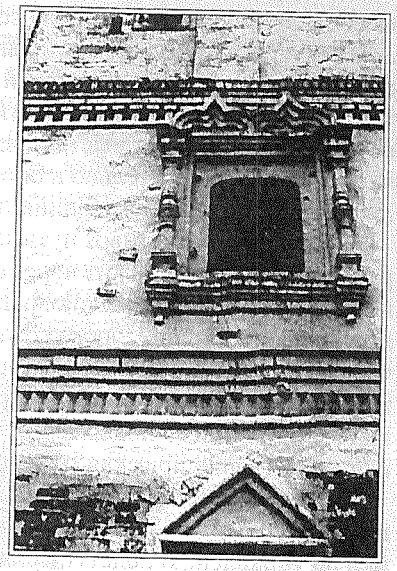


Рис. 92. Повторные деформации в соборе Воскресенского монастыря в Угличе

Учитывая скрытый характер техники закрепления грунтов инъекционными материалами, а также невозможность стандартизации многих операций при осуществлении этих методов на памятниках архитектуры, необходимым условием реализации проекта является включение специальных исследований оценки качества закрепления грунтов и фундаментов в общую процедуру реставрационных работ. В противном случае конечный результат не всегда является положительным.

5.7. Регулирование влажности фундаментов и стоков атмосферных осадков на исторических территориях

Наиболее надежно памятники архитектуры с момента постройки были защищены от прямого попадания атмосферной влаги сверху конструкциями кровель, водометов, карнизов и т.п. Однако, за время своего существования они испытывали негативное воздействие влаги снизу, поступающей из грунтов и с дневной поверхности в фундаменты, цоколи и стены — элементы, не имеющие в подавляющем большинстве случаев защиты от влаги. В связи с этим большая часть сохранившихся памятников имеют ослабленные физико-химическими процессами выветривания нижние части стен и фундаменты из-за их переувлажнения. С другой стороны, повышенная влажность грунтов оснований и накапливание фундаментных вод приводит к знакопеременным деформациям морозного пучения и процессам пучения глинистых грунтов. Протекание этих скрытых процессов таит

в себе серьезную опасность для сохранения стабильности памятников архитектуры в будущем, поскольку эта угроза со временем усиливается. Поэтому важнейшей задачей при сохранении памятников архитектуры является поиск конкретных решений по снижению или полному исключению воздействия влаги снизу на несущие конструкции памятников применительно к определенным условиям и задачам, возникающим при их реставрации или реконструкции.

Наиболее вероятный путь поступления влаги к стенам и интерьерам памятников лежит через фундаменты и реже через наружные поверхности цоколей. Основным источником поступления влаги в несущие конструкции служат фундаментные воды, накапливающиеся чаще всего за счет прямого затекания атмосферных вод в пустоты и трещины фундаментов и мигрирующая к телу фундаментов влага в виде капиллярного подсоса (постоянная миграция) и конденсационная влага (периодическая миграция).

Следует различать два основных способа борьбы против влажности. Первый заключается в создании системы "оборонительных" мер по управлению подступа влаги к нижним несущим конструкциям памятников — фундаментам, цоколям. Второй способ состоит в предотвращении дальнейшей миграции в стены поступившей через фундаменты влаги с поверхности и из окружающей геологической среды.

К первому способу борьбы с влажностью следует отнести устройство отмосток и проведение вертикальной планировки с созданием фиксированных активных уклонов, обеспечивающих быструю эвакуацию атмосферных осадков, но исключающих с другой стороны развитие плоскостной эрозии и дренаж. Величина уклонов спланированных участков будет зависеть от шероховатости материала создаваемой поверхности, размеров и геометрии этих участков, а также от сопротивляемости грунта эрозионному размыву. В среднем эти уклоны составляют для поверхности покрытой пиленной или колотой брусчаткой 5–8%, для гранитной высевки 8–10%, для грунтовых покрытий 5–7%, для задернованных территорий 10–12%.

Наиболее важными элементами вертикальной планировки являются отмостки и грунтовые лотки, служащие для сбора и стремительного отвода атмосферных осадков. Для них есть общие черты, но и свои отличительные особенности. Эти элементы должны иметь максимально возможные уклоны и в зависимости от материала покрытия составлять от 5–7 до 10–12%. Но если для устройства лотков из дискретных материалов (булыга, кирпич, брусчатка) допускается применение сухой песчано-цементной смеси, то устройство отмосток из тех же материалов не допускает ее применения. В этом случае обязательна песчано-гравийная подготовка мощностью 0,2–0,4 м с максимальным уплотнением перед укладкой дискретного покрытия. При этом швы толщиной 1,0–1,5 см должны заполняться крупнозернистым песком до уровня поверхности отмостки при тщательном трамбовании.

Примером удачного исполнения отмостки из пиленной брусчатки, положенной на песчано-гравийную подготовку, может служить отмостка, уложенная в 1997 г. по периметру здания бывшего особняка З. Морозовой (проект "ИГИТ"). На рисунке показана укладка отмостки по периметру дворового фасада здания. Для организации отвода воды с поверхности отмостки, иногда в местах образования сосредоточения потока (например, вблизи водосточных труб), из прочных пород устраивают цельные профилированные лотки (рис. 93).

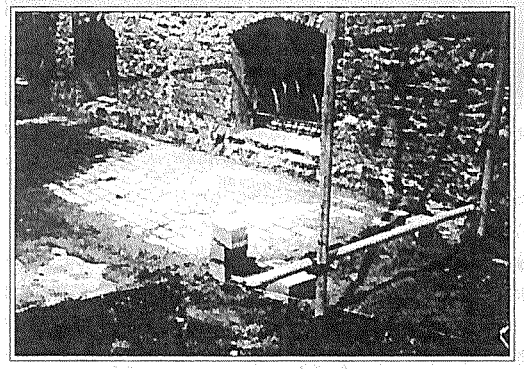


Рис. 93. Устройство дискретной "дышащей" отмостки

Сохранившаяся в надлежащем состоянии дневная поверхность соответствует удовлетворительному состоянию памятника, т.е. режим поверхности как бы определяет проявление коллективных свойств примыкающей приповерхностной инфраструктуры. Обусловленность подобного воздействия довольно наглядно подтверждается состоянием некоторых памятников архитектуры.

В этом отношении наиболее убедительным примером может служить состояние храма Иоанна Предтечи в Толчкове (г. Ярославль XVII в.), в котором полностью отсутствуют осадочные деформации и в целом несущие конструкции имеют хорошую сохранность. За три столетия своего существования здание храма не утратило первоначального соотношения с дневной поверхностью и по-прежнему сохраняет благоприятные условия для поддержания устойчивого со-

стояния, благодаря сохранившимся профилированным уклонам, обеспечивающим хорошую эвакуацию атмосферных осадков (рис. 94).

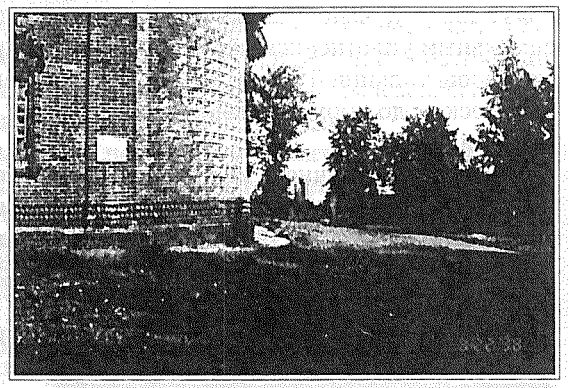


Рис. 94. Сохранившиеся профилированные уклоны на территории памятника ц. Иоанна Предтечи в Ярославле

В случае нахождения уровня грунтовых вод выше подошвы фундаментов памятника, наиболее эффективной защитной мерой является устройство периметрального трубчатого дренажа. Эта мера, к которой неоднократно прибегали древние строители Великого Новгорода, Ростова Великого и других исторических городов, была достаточно эффективной до начала заиливания дренажей. После их полного кольматирования сооружения памятников оказывались в сфере воздействия тех негативных процессов, развитие которых связано с переувлажнением грунтов основания и фундаментов (см. раздел 3.6).

В последние годы в ряде случаев прибегают к устройству периметрального дренажа для снижения влажности в подвальных помещениях зданий памятников. Так, по рекомендации автора в начале 70-х годов в Великом Новгороде с западной и северной стороны здания Присутственных мест в Новгородском кремле был сооружен периметральный дренаж, который позволил резко снизить влажность фундаментов и стен подвалов и использовать подвальные помещения для хранения музейных экспонатов.

Дренаж был оборудован керамическими трубами диаметром 89 мм с обсыпкой обратным фильтром на участках стыков. Заложение дрены на 0,3 м выше подошвы фундаментов и на расстоянии от них около 1,0 м позволило обеспечить необходимую норму осушения грунтового массива в пределах глубины фундаментов.

Часто в городских условиях при значительном снижении поверхностных градиентов и создания застойных участков приходится

искать раздельные пути разбора поверхностного стока и прибегать к организации систем его эвакуации "по месту" с учетом конкретных условий. Такая схема, например, была выбрана для осушения территории музея-усадьбы "Останкино".

Плоский характер владений Останкинского дворца, будучи блокированных примыкающей городской территорией, осложняет дренирование территории памятника и примыкающего регулярного парка. Вблизи дворца за последние десятилетия появились несвязанные между собой бессточные зоны, осложняющие создание единой системы эвакуации атмосферных осадков.

В связи с этим возникла необходимость рассредоточить скапливающиеся атмосферные осадки и найти автономные пути их вывода с территории памятника.

Задача была решена за счет создания частичного перепуска ливневых осадков в скважины вертикального дренажа. Зоной разгрузки была выбрана толща флювиогляциальных песков с зоной аэрации мощностью до 5,0 м.

Для подтверждения возможности перепуска ливневых дождей в объеме до 60 $м^3$/сут в течение 2–3 суток совместно "ИГИТ" и Гидроспецпроектом была смоделирована заданная ситуация с использованием двух перепускных скважин с постоянным питанием горизонта разгрузки.

Результаты моделирования показали возможность эвакуации части выпадающих на территории усадьбы атмосферных осадков через перепускные скважины без нарушения гидрогеологического режима территории усадьбы. При этом размещение скважин и устройство лотков для удаления оставшейся части атмосферных осадков учитывается в зависимости от сложившейся обстановки вблизи памятника и должно предусматриваться проектом вертикальной планировки.

Дальнейшее сохранение памятников архитектуры во многом будет определяться их защищенностью от поступлений влаги снизу и разработки эффективных методов, способных противостоять ее воздействию. Поэтому, в настоящее время идет поиск новых материалов и технологий для "щадящих" памятники методов защиты от влаги.

В России проблема влияния влажности на сохранность памятников осложняется значительной продолжительностью воздействия отрицательных температур на процессы промораживания увлажненных грунтов, фундаментов, стен.

Проникающая в кладку фундаментов и стен влага вызывает, как это было показано выше (раздел 3.5), образование высолов, ухудшает физические свойства кладки, в частности, ее теплопроводность, которая при увеличении влажности на 10% увеличивается в 1,5 раза. Капиллярная влага может подниматься по кирпичной кладке на высоту до 2,0 м, в результате чего происходит ее увлажнение и разрушение от действия отрицательных температур. Цокольная часть памятников может дополнительно смачиваться водой от прямого попадания атмосферной влаги на поверхности кладки.

Поэтому создание условий для испарения влаги на пути ее подъема и презервации поверхности кладки цоколя исключает возможность для ее концентрации в зоне капиллярной каймы. К подобной мере пресечения условий образования высолов и разрушения кладки цоколей стали прибегать во второй половине XIX в. и в начале XX в., т.е. в период наивысшего уровня культуры технологии строительства в России. В это время, в частности, произошла критическая оценка использования деревянных свай и стал применяться асфальт для гидроизоляции стен.

Тогда же для полного или частичного пресечения капиллярного подсоса в цокольной части зданий стали использовать гранит или габбро-диабазы на всю ширину стены или в виде облицовки толщиной до 0,6–0,8 м. Эта мера, во-первых, полностью исключала проникновение всех видов влаги в стены, во-вторых, исключалось проникновение атмосферной влаги. В последнем случае для борьбы с капиллярным подсосом посередине вдоль стен в процессе строительства здания создавались каналы для проветривания кирпичной части кладки. Размеры каналов в среднем составляли 8х8 см.

Каналы обычно размещались над цоколем в пределах высоты капиллярного подсоса для кирпичной кладки (до 2,0 м). Устья каналов выводили на поверхность стен через 3–5 м, создавая таким образом сквозное проветривание кладки с удалением из стен капиллярной влаги (рис. 95).

В частности, такая мера была предусмотрена при строительстве Спассо-Преображенского собора в 1887–1896 гг. (арх. Г.И. Карпов) и храма Воскресенского скита в 1906 г. (арх. В.И. Баранкеев) на Валааме, давшая положительный результат. В церкви же Преподобных отцов Игуменского кладбища на Валааме, построенной в 1876 г., при такой же конструкции цокольной части, но не имеющей отсекающих проветриваемых каналов, наблюдаются значительные высолы, активно разрушающие кирпичную кладку. О подобной роли асфальтовой гидроизоляции указывалось в разделе 1.2.

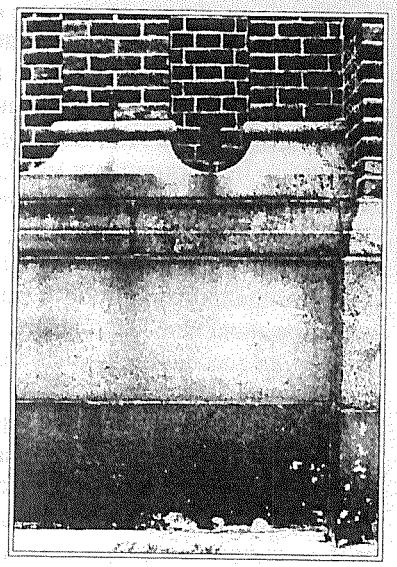


Рис. 95. Отверстия для каналов в кладке стен, используемых для борьбы с капиллярным подсосом

Идея создания капиллярно прерывающей диафрагмы в структуре кирпичной кладки и проведение диффузионной пропитки порового пространства гидрофобными составами для исключения условий смачивания и образования капиллярной влажности сама по себе не нова. Однако, на существующих памятниках архитектуры она не может быть решена в традиционно форме и поэтому в последние годы разрабатываются новые технологии и создаются нетрадиционные материалы для борьбы с проникновением влаги снизу.

Поскольку фундаменты и стены большинства памятников архитектуры из-за нарушенной вблизи них приповерхностной инфраструктуры имеют повышенную влажность, то устранение ее с помощью диффузионной пропитки и инъецирования трещинно-порового пространства материала фундаментов и стен, для прерывания капиллярной сети в кладке, становится одним из решающих вопросов при сохранении памятников архитектуры. Основа этих методов лежит в использовании принципов строительной физики и физической химии с учетом структуры материалов кладки и геохимической обстановки окружающей фундаменты геологической среды. Проведение подобных работ требует установления правильного диагноза природы увлажнения кладки несущих конструкций, профессиональной разработки проектов и их реализации.

Инъецирование кладки состоит в введении под давлением специально разработанных искусственных смол или различных кремнийорганических композиций, обеспечивающих почти полную водонепроницаемость за счет сужения капилляров или их полного закрытия в зоне создания горизонтальной или наклонной диафрагмы. Достоинством таких

композитов является химическая совместимость с большинством строительных материалов. Давление инъецируемого раствора зависит от гидростатического давления влаги, присутствие которого обуславливает необходимость применения высоких давлений, тогда как в борьбе с капиллярной влагой в этом необходимости нет.

Выбор инъекционных материалов зависит от вида, структуры и состояния материала кладок и от вида инъецирования. Так, для борьбы против гидростатического давления и капиллярного подсоса используются полиуретановые и акриловые смолы или кремнийорганические соединения, против поступления влаги под давлением применяются эпоксидные смолы, а для подавления капиллярного подсоса используют различные силиконовые композиции, например, на основе метилсиликоната натрия (ГКЖ-11) или Kemasol.

Диффузионная пропитка применяется для предотвращения увлажнения в результате проникновения по капиллярам влаги в несущие конструкции. При использовании гидрофобизаторов для этой цели необходимо весьма тщательно изучать структуру материала кладки и вяжущих растворов, поскольку наличие макропор и трещин может снизить качество гидрофобизации. Перед началом работ на предпроектной стадии целесообразно в лабораторных условиях, путем сравнительной оценки исследовать и выбрать оптимальный для конкретной кладки гидрофобизирующий раствор.

Бурение шпуров для осуществления отсечной гидроизоляции производится пневматическим перфоратором с коронкой минимального диаметра (18–29 мм) Расстояние между шпурами, угол наклона бурения выбираются по месту и в среднем составляют: шаг между шпурами 0,2 м, угол наклона для верхней отсечной гидроизоляции 0–20°, нижней — 50–75°.

Перед началом инъекции кладка должна быть высушена и находиться в интервале температур от 5 до 20°С. Раствор нагнетается под давлением не выше 0,1 МПа для верхней отсечной гидроизоляции и не менее 0,5 МПа для нижней. В зависимости от толщины и состояния стен инъекцию растворов осуществляют с одной или двух сторон.

Однако, одним из сложных при создании диафрагм остается вопрос выбора мест для их размещения в кладке стен, подвергающихся промораживанию. Проблема заключается в том, что под диафрагмой от капиллярного подсоса или от замачивания цоколя будет скапливаться влага и кладка приобретает повышенную влажность. При промораживании начнется ее разрушение.

Поэтому проведение гидрофобизации и устройство отсечной гидроизоляции должно осуществляться при условии минимального скапливания влаги в пределах зоны промораживания кладки. Этому требованию в большей степени отвечает вариант устройства отсечной диафрагмы в двух уровнях с гидроизоляцией цоколя между отмосткой и верхней отсечной гидроизоляцией (рис. 96).

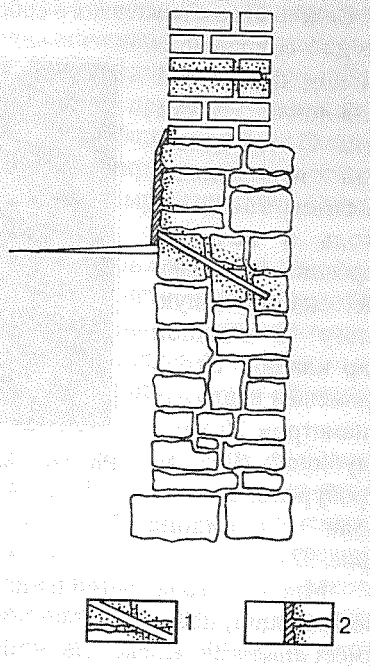


Рис. 96. Устройство отсечных диафрагм.
1 – диафрагма; 2 – ремонтная штукатурка

С различными вариациями задачи по созданию преград против поступающей влаги в конструкции памятников архитектуры были решены для ряда зданий Третьяковской галереи, бывшего особняка З. Морозовой, Государственного исторического музея, Большого Кремлевского дворца и других памятников.

Однако технология создания отсечной гидроизоляции иногда встречает со стороны реставраторов возражения, которыми очевидно нельзя пренебрегать. Кажущаяся внешняя простота метода, во-первых, дорого стоит, во-вторых, это все-таки борьба со следствием, а не с причиной. Не всегда в борьбе с влагой, проникающей в несущие конструкции, использован полностью арсенал методов, предотвращающих поступление влаги, как-то: проведение вертикальной планировки, замена асфальта на дискретное дышащее покрытие и т.п.

Некоторая методическая недоработанность и неполная ясность в значительной эффективности получаемых результатов делает необходимым на объектах, где применяется эта технология, организовывать слежение за надежностью работы диафрагмы.

Интересное решение было найдено реставраторами из Санкт-Петербурга при создании отсечной диафрагмы в юго-западном пилоне Спассо-Преображенского собора Спасского монастыря в Ярославле для сохранения на нем фресковой живописи XVI века. С этой целью был использован активированный уголь в качестве сорбента, поглощающего капиллярную влагу и водяной пар кладки. Уголь размещен в шпурах диаметром 20 мм и глубиной 0,15 м, пробуренных в цоколе пилона (рис. 97).

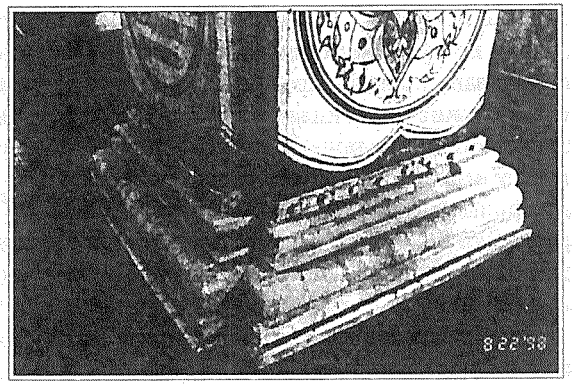


Рис. 97. Отсечная гидроизоляция из активированного угля в Спасском соборе в Ярославле

Многое, что делается в настоящий период в рамках инженерной реставрации, носит в большинстве случаев пионерский характер и не имеет аналогов. Насколько принятые решения соответствуют состоянию реальных исторических систем, просуществовавших несколько столетий, решит время. Поэтому часть из того, что сделано и будет еще осуществлено, должно проверяться. Проделанную в данном направлении работу необходимо подвергнуть обобщению и анализу. Это позволит сохранить для будущего проверенные временем методы стабилизации памятников, опробованные для конкретных инженерно-геологических и природно-технических условий.

К сожалению, этот вид деятельности в практике реставрационных работ еще не востребован. В управлении сохранностью исторической природно-технической системы "памятник — геологическая среда" должен быть предусмотрен порядок слежения за состоянием памятников и окружающей среды с выверенной целью и программой этой деятельности.

Слежение позволит выделить изменения в геологической среде под влиянием техно-природных процессов и в конечном итоге смо-

жет оказать помощь в организации управления состоянием природной составляющей исторических природно-технических систем.

К сожалению, развитие инженерной геологии в последние годы идет по пути отдаления своей предназначенности от инженерной составляющей. Об этом, в частности, можно судить по уровню подготовленности к принятию решений управления природно-техническими системами, которые часто подменяются общими рассуждениями по этому поводу. А это, к сожалению, формирует у специалистов, принимающих решения, качельный синдром, выражающийся в нестабильности принятия правильных решений.

Рассмотренные в этой главе методы стабилизации и регенерации, а также способы придания комфортности историческим территориям и некоторым несущим элементам памятников можно расценить как необходимые параметры порядка, задействованные с учетом и в рамках выявленных в структуре исторической системы обратных отрицательных связей.

Приведенный перечень параметров порядка — создание глубинных охранных зон, регенерация дневной поверхности с элементами вертикальной планировки и традиционными дискретными покрытиями, организация дренирования и пресечения поступления влаги в несущие конструкции, оптимальное размещение растительности вблизи памятников и др. — позволит уменьшить, а в ряде случаев полностью устранить чувствительность структуры исторической природно-технической системы к внешним природным и техногенным воздействиям.

Заключение

Сохранение памятников русской архитектуры сопряжено с необходимостью решения немалого числа проблем, связанных, в частности, с изменением гидрогеологических условий, с техногенными изменениями геологической среды в сфере взаимодействия памятников. Сложившиеся изменения в окружающей среде создают предпосылки для медленного исчезновения многих памятников архитектуры, что может нанести непоправимый ущерб национальному архитектурному наследию.

Длительная динамика процессов, протекающих в основании памятников и определяющих его эволюционные изменения, оказывает влияние на развитие деформаций несущих конструкций в течение многих лет в такой степени, в какой оно не может быть воспринято исследователями одного поколения.

Рассмотрение основных причин деформации несущих конструкций памятников показало достаточную сложность познания внутренних свойств и состояния этого целостного объекта во взаимодействии с геологической средой. Этих внутренних свойств *целого* нет в отдельности у каждого из элементов рассмотренной системы и, поскольку основу получаемой информации о ее состоянии составляют частные сведения, то представить свойства и состояние ПТС в целом трудно.

Это объясняется тем, что сохранившиеся исторические системы относятся к объектам с перцептивными структурами, которые непосредственно отражают свое состояние в целом, но при этом не раскрывают причины деформаций памятников по имеющимся, например, показателям свойств субстрата каждого из элементов системы. К примеру, прочность кирпича или модуль деформации грунтов основания не могут обосновать устойчивость памятника или объяснить причину деформации его несущей конструкции, поскольку и в кладке конструкций и в основании происходит реализация коллективных свойств субстрата совместно с его структурой.

Поэтому инженерно-геологическое диагностирование следует рассматривать как важнейшее звено между архитектоникой памятников и парагенезом процессов, затрагивающих изменение состояния геологической среды в сфере взаимодействия, для поиска адекватных решений, стабилизирующих структуру исторической ПТС "памятник — геологическая среда".

Сохранность памятников может быть обеспечена системой управления или минимизацией источников риска деформаций за счет их защиты, в том числе и инженерно-геологическими методами. Венецианская хартия архитектурно-реставрационных принципов утвердила важнейшими из них предупреждение проявлений основных разрушающих факторов, что фактически означает создание режима охраны окружающей памятник геологической среды.

В соответствии с теорией опасности конечной целью исследования условий формирования геологического риска для сохранности памятников архитектуры является обоснование методов создания безопасных ситуаций, приемлемых и устойчивых для конкретной исторической территории на основе инженерно-геологического диагноза. Поскольку памятники архитектуры являются объектами опасности, формирующейся под влиянием изменения геолого-экологического равновесия в природе, в книге геологическая среда впервые рассмотрена как природно-техногенный и техногенный носитель опасности.

В настоящее время целый ряд памятников архитектуры по уровню своей сохранности находится в пограничном состоянии, близком иногда к стрессовому. К ним можно отнести ц. Ильи Пророка в Москве (XV в.), ц. Рождества Богородицы в Ростове Великом (XVII в.), ц. Андрея Первозванного в Великом Новгороде (XIV в.) северное прясло стены и примыкающие к ней внутренние постройки Печерского монастыря (XVII–XVIII вв.) в Нижнем Новгороде, Успенскую церковь в Воронеже (XVII в.) и многие многие другие.

Учитывая, что процессы в основании указанных памятников протекают в скрытой форме, риск сохранения этих и многих других памятников отечественной архитектуры остается весьма большим.

Список литературы

1. **Абрамов С.К., Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С.** *Источники и факторы подтопления территорий промышленных предприятий.* Сб. "Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьба с их подтоплением. Белгород, 1972.
2. **Агафонов С.Л.** *Горький. Балахна. Макарьев.* М., "Искусство", 1969.
3. ***Альбом** расчетных схем по оценке устойчивости горных выработок.* Л., ВНИМИ, 1970.
4. **Витберг Ф.А.** *Витберг и его проект Храма Христа Спасителя на Воробьевых горах.* "Старые годы", № 2, 1912.
5. **Воронин Н.Н.** *Любите и сохраняйте памятники древне-русского искусства.* М., "Искусство", 1960.
6. **Герсиванов Н.М., Польшин Д.Е.** *Теоретические основы механики грунтов и их практические применения.* М., Госстройиздат, 1948.
7. **Гольдштейн М.Н.** *Механические свойства грунтов.* М., Стройиздат, 1973.
8. **Горшин С.Н., Крапивина И.Г., Рымина Л.В.** *Исследование состояния свайного основания колокольни Ивана Великого в Московском кремле. Методика и технология консервации и реставрации памятников истории и культуры.* НМС МК СССР, 1988.
9. **Денисов Н.Я.** *Инженерная геология.* М., Госстройиздат, 1960.
10. ***Записки** академика А.Л. Витберга.* "Русская старина", Т. V, С-Петербург, 1872.
11. **Зворыкин Н.П.** *Защита и сохранение неотапливаемых древних памятников архитектуры. Вопросы реставрации и пропаганды памятников истории и культуры. Вып. III.* М., 1975.
12. **Зворыкин Н.П.** *Итоги римского коллоквиума, посвященного вопросу влажности каменной кладки памятников архитектуры.* В сб. "Сообщения", вып. V. Нормализация влажности каменных конструкций в древних зданиях. Материалы совещания. Изд. научно-методического совета по охране памятников культуры МК СССР, М., 1970.
13. ***Инженерная** геология СССР. Платформенные регионы Европейской части СССР. Кн. 1 и 2.* М., Недра, 1992.

14. **Каган А.А., Солодухин М.А.** *Состав и физико-механические свойства моренных суглинков Вологодской, Архангельской и Ленинградской областей.* Сб. статей. Инженерно-геологическое изучение морен. Ярославль, 1974.
15. **Коновалов Ф.А.** *Солотчинские были.* М.,"Московский рабочий", 1971.
16. **Котлов Ф.В.** *Изменения природных условий территории Москвы.* М., Изд. АН СССР, 1962.
17. **Красовский А.** *Гражданская архитектура.* М., 1886.
18. **Ломтадзе В.Д.** *Инженерная геология.* Л.,"Недра", 1970.
19. ***Методика** обследования и проектирования оснований и фундаментов при капитальном ремонте, реконструкции и надстройке зданий.* М., Стройиздат, 1972.
20. ***Методика** реставрации памятников архитектуры.* Академия строительства и архитектуры СССР. М., 1961.
21. ***Методика** реставрации памятников архитектуры.* Под редакцией Михайловского Е.М., М., 1977
22. ***Методы** обследования зданий.* М., Стройиздат, 1972.
23. **Михайловский Е.М.** *Консервация Успенского собора в Рязани.* В кн. Теория и практика реставрационных работ. М., Стройиздат, 1981.
24. ***Москва**. Геология и город.* Под редакцией Осипова В.И. М., РАН, Ин-т геоэкологии, 1998.
25. **Невечеря В.Л., Пашкин Е.М., Подборская В.О.** *Исследование влияния криогенного пучения на устойчивость памятников архитектуры Русского Севера.* "Инженерная геология", № 6, 1991.
26. **Некрасов А.И.** *Архитектурное зодчество XI–XVII вв.* М., изд. Всемирной академии архитектуры, 1936.
27. ***Охрана** и реставрация памятников архитектуры.* М., Стройиздат, 1981.
28. **Пашкин Е.М., Бессонов Г.Б.** *Диагностика деформации памятников архитектуры.* М., Стройиздат, 1984.
29. **Пашкин Е.М., Домарев О.В.,Курделова Л.В.,Сосков П.А.** *Изучение садово-парковых ансамблей.* "Инженерная геология", № 2, 1992.
30. **Пашкин Е.М., Домарев О.В., Никифоров А.А.** *Инженерно-геологические аспекты проблемы сохранения древних оборонительных сооружений.* "Геоэкология", № 4, 1993.

31. **Пашкин Е.М., Никифоров А.А., Рунич С.А.** *Дефицит несущей способности грунтов и инженерно-геологическое обоснование глубинной охранной зоны памятников архитектуры.* "Геоэкология", № 4, 1995.
32. **Пашкин Е.М., Домарев О.В., Чекалин С.И.** *Инженерно-геологический аспект сохранения и реставрации Останкинского музея-усадьбы.* "Геоэкология", № 4, 1997.
33. **Пашкин Е.М., Кувшинников В.М., Никифоров А.А., Пономарев В.В.** *Природа формирования дефицита несущей способности и специфика инженерной защиты памятников архитектуры.* "Геоэкология", № 4, 1996.
34. **Пашкин Е.М., Дзекцер Е.С.** *Особенности изменения баланса влажности грунтов в основании памятников архитектуры.* Изв. ВУЗов. Геология и разведка., № 5, 1998.
35. **Пашкин Е.М., Ануфриев А.А., Кувшинников В.М., и др.** *Высолы и инженерно-геологические аспекты их формирования на памятниках архитектуры.* М., "Геоэкология", № 4, 1998.
36. **Подъяпольский С.С. и др.** *Реставрация памятников архитектуры.* М., Стройиздат, 1988.
37. **Поляков Е.В.** *Реконструкция и ремонт жилых зданий.* М., Стройиздат, 1972
38. **Попов Г.Т., Бурак Л.Я.** *Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки.* Л., Стройиздат, 1986.
39. **Полуботко А.А.** *Инженерно-геологические причины деформации промышленных и гражданских зданий.* Изв. ВУЗов, № 8, 1970.
40. **Раппапорт П.А.** *Строительное искусство Древней Руси X–XIII вв.* Спб., Наука, 1994.
41. ***Рекомендации*** *по расчету испарения с поверхности суши.* М., Гидрометеоиздат, 1976.
42. **Ржаницын Б.А.** *Закрепление грунтов под фундаментами памятников архитектуры.* Вопросы реставрации и пропаганды памятников истории и культуры. Вып. III. М., 1975.
43. **Ройтман А.Г.** *Деформации и повреждения зданий.* М., Стройиздат, 1987.
44. **Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Осипов В.И. и др.** *Грунтоведение.* Изд. МГУ, 1973.
45. **Слукин В.М.** *Неразрушающие методы исследования памятников архиектуры.* Свердловск, изд. Уральского университета, 1988.

46. **Федоров В.И.** *Метод консервации в применении к памятникам архитектуры Московского кремля.* В кн. Методика и практика сохранения памятников архитектуры. М., Стройиздат, 1974.
47. **Флоренсов Н.А.** *Скульптуры земной поверхности.* М., Наука, 1983.
48. **Шиссель А.М., Щербакова М.Н.** *Инженерно-геологическая характеристика суглинков московской морены ярославского Поволжья.* Сб. статей. Инженерно-геологическое изучение морен. Ярославль, 1974.
49. **Эдинг Б.** *Ростов Великий. Углич.* Памятники художественной старины. М., 1913.
50. **Blin J.-C., Denis A., Jacob B.** *Fidelite des methodes d'essais Bull.* Liais. Lab. Ponts et Chaussees. (Paris), 1990.
51. **Chernyshov S.N., Gendel E.M., Lushnikov V.V., Pashkin E.M.** *Preservation of old building on the USSR territory. International society for soil mechanics and foundation engineering.* Stockholm, 1981.
52. **Froidveux J.-M.** *Restaurationdes des monuments anciens.* Paris., Masson,1989.
53. **Hunt R.E.** *Geotechnical engineering techniques and practices.* N.Y., Mc Craw-Hill, 1986.
54. ***Introduction*** *pour la conservation, l'entretien et la restauration des monuments.* Paris, 1987.
55. **Lizi F.** *The introduction in the technique of foundation cimentation* Naples: Anguilli, 1952.
56. **Margottimi C.** *L'impegno dell'ENEA nel progetto Civita.* Notiz. ENEA Energ. et inov. 1991.

Оглавление

Предисловие 3

Введение 4

Глава 1. Характеристика основных несущих конструкций памятников архитектуры 8
1.1. Конструктивные особенности памятников русской архитектуры 8
1.2. Фундаменты и их совместная работа с основаниями 11
1.3. Стены 31

Глава 2. Оценка инженерно-геологических условий исторических территорий и их роль в сохранении памятников архитектуры 43
2.1. Общие замечания 43
2.2. Краткая характеристика некоторых типов грунтов оснований памятников 46
2.3. Роль гидрогеологических условий при сохранении памятников архитектуры 68
2.4. Влияние современных геологических процессов на устойчивость исторических территорий 77

Глава 3. Изучение эволюционных изменений в структуре исторических территорий и оснований памятников архитектуры 100
3.1. Роль эволюционных преобразований в сохранении памятников архитектуры 100
3.2. Природа формирования дефицита несущей способности грунтов основания 103
3.3. Разрушение структуры поверхности исторических территорий 115
3.4. Изменение баланса влажности грунтов в основании памятников архитектуры 136
3.5. Химические и минеральные преобразования материалов фундаментов 145
3.6. Роль техногенных изменений геологической среды в сохранении памятников архитектуры 153

Глава 4. Диагностика деформирования памятников архитектуры 164
4.1. Общие замечания 164
4.2. Задачи технической диагностики памятников 166
4.3. Сущность и задачи инженерно-геологической диагностики памятников 171
4.4. Методы и средства диагностики памятников архитектуры 175
4.5. Анализ причинно-следственной связи при оценке условий деформирования памятников архитектуры 185
4.6. Примеры диагноза причин деформирования памятников архитектуры 189

Глава 5. Основные способы управления сохранностью и устойчивостью памятников архитектуры 201
5.1. Общие замечания 201
5.2. Стабилизация осадок обжатием грунта в зоне контакта фундамент — грунт 206
5.3. Создание глубинных охранных зон 213
5.4. Усиление фундаментов и оснований с помощью буроинъекционных и вдавливаемых свай 219
5.5. Подъем памятников архитектуры 225
5.6. Усиление основания с помощью химического закрепления грунтов 231
5.7. Регулирование влажности фундаментов и стоков атмосферных осадков на исторических территориях 237

Заключение 248

Список литературы 250

Монография

Пашкин Евгений Меркурьевич

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФОРМАЦИЙ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Художник *С.Н. Дмитренко.* Набор текста *А.М. Акатова.* Компьютерная верстка *С.Н. Дмитренко*

ЛР № 010146 от 25.12.96. Подп. в печать 10.11.98. Формат 60x88 1/16. Бумага офс. № 1. Гарнитура «Кудряшов». Печать офсетная. Объем 15,68 усл. печ. л., 16,18 усл. кр.-отт. Тираж 1500 экз. Заказ 1752

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Отпечатано с диапозитивов в ГУП ИПК «Ульяновский Дом печати», 432601, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14.

В книге «Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры» видного отечественного специалиста в области охраны и реставрации памятников истории и культуры, академика Академии архитектурного наследия, заслуженного деятеля искусств, профессора Е.М. Пашкина рассмотрены проблемы взаимодействия между элементами окружающей природной среды и несущими элементами памятников русской архитектуры, описаны формы и виды их эволюционных преобразований за длительное время существования.

Книга предназначена для инженеров-геологов, архитекторов и реставраторов.