**Исследования инженерно-геологических условий памятников истории и культуры**

“...из всех ошибок, происходящих на постройке, наиболее пагубны те, которые касаются фундамента, так как они влекут за собой гибель всего здания и исправляются только с величайшим трудом...”

А. Палладио, “Четыре книги об архитектуре” 1750 г.

Большинство памятников истории и культуры или тесно взаимосвязаны с геологической средой, или же являются ее составной и неотъемлемой частью. К ним, в соответствии с законом РФ, относятся:

– здания и сооружения – памятники истории, связанные с важнейшими событиями в жизни человеческого сообщества;

– городища, курганы, остатки древних поселений и крепостей, дороги, захоронения, наскальные изображения и каменные изваяния, а также культурный слой, являющиеся памятниками археологии;

– архитектурные ансамбли, остатки древних поселений, сооружения промышленной, военной, культовой архитектуры, садово-парковые ансамбли и природные ландшафты – памятники градостроительства и архитектуры.

Подавляющее большинство памятников, входящих в перечисленные категории, на территории Российской Федерации находится в аварийном или деформированном состоянии, подвержены разнообразным деструктивным процессам, нарушающим их целостность. Особенно это касается памятников архитектуры – более 80% их зданий и сооружений разрушаются под воздействием именно геолого-географических факторов [8, с.44].

Проявления разрушительных процессов в сооружениях весьма типичны. С поверхностей стен, полов и сводов зданий отслаиваются и осыпаются покрытия (плитка, штукатурка, краска и др.). В углах, в нижних участках внутренних и наружных стен помещений появляется сырость и налеты солей, вырастают микроорганизмы (лишайник, мох, водоросли и др.). Здания наклоняются, в конструктивных элементах появляются трещины. Гладкие поверхности конструкций становятся волнистыми, ступенчатыми, заклинивают двери и оконные рамы. Разрушаются металлические и деревянные связи и стяжки, кирпичные и каменные стены и перекрытия.

Традиционными, косметическими методами “лечения” исторических сооружений являются: шпатлевка трещин, штукатурка и покраска стен, обновление фресок, вычинка разрушенных фрагментов и их мелкий ремонт, пристройка упоров, контрфорсов, стяжка разорванных, разрушенных элементов, армирование конструкций металлическими поясами.

Такие сравнительно простые реставрационные работы, как правило, повторяются из года в год без анализа вызывающих их причин. Ответы на вопросы: “почему происходят изменения памятника? С какими условиями или причинами они связаны?” и др. начинают искать тогда, когда положение становится угрожающим для памятника, он наклоняется, оседает, перекашивается, по быстро разрастающимся трещинам отделяются фрагменты или неожиданно происходит полное или частичное разрушение всего сооружения.

Основными причинами деструкции исторических сооружений являются:

а) глобальные и локальные изменения природных условий функционирования сооружений, связанные с длительным сроком их существования;

б) искусственное, целенаправленное изменение режима эксплуатации сооружения;

в) ошибки или неопределенности в расчетах и представлениях, имевшие место при строительстве или реконструкции сооружения, недостаточно полное обоснование проектных (архитектурных) решений, неучет неоднородности основания, возможности развития геологических процессов;

г) недостаточная и различная прочность использованных при возведении сооружения строительных материалов и компонентов геологической среды.

а. Изменения условий существования сооружений имеет как общий (планетарный) характер, так и местный (локальный).

В первом случае наблюдается повышение общей агрессивности внешней среды, усиленное воздействие физических и химических факторов, ведущих к выветриванию, рост негативного влияния других условий и причин разрушения.

Повышается среднегодовая температура атмосферы Земли. По данным С. М. Семенова и В. С. Ковалевского (1999 г.) ее рост только с 1861 по 1981 год составил 0.6°С. Увеличивается количество атмосферных осадков, инфильтрационный и поверхностный сток и, соответственно, меняются режимы движения верховодки и грунтовых вод. Растет содержание агрессивных веществ в атмосфере. Повышение кислотности атмосферных осадков ускоряет разрушение строительных и отделочных материалов сооружений. Скорость “старения” сооружений в последние годы значительно возросла.

К факторам глобального характера можно также отнести практически повсеместный рост мощности сравнительно агрессивного по своим свойствам техногенного слоя, появление разрушающих строительные материалы микроорганизмов и т.п.

Так, например, мощность техногенного слоя вокруг Михеевской церкви Троице-Сергиевой Лавры за 260 лет увеличилась на 1.1 – 1.4 м. Деструкция цокольной части фундамента и основания стен Михеевской церкви под его воздействием распространилась на глубину 0.6 м.

Во втором случае, на локальном уровне, происходит множество индивидуальных для каждого памятника изменений условий его существования. Неравномерное гниение укрепляющих основание свай-“коротышей”, развитие пучения, карста, суффозии и других геологических процессов, разрушение отмостки или создание паронепроницаемого покрытия, строительство рядом с памятником вредного для окружающей среды производства или уничтожение близко расположенного водоема и т.п.

б. В процессе длительной жизни памятников многократно менялось общественно-политическое устройство общества, социальные, экономические условия, культурные и нравственные традиции. Сообразно менялись и условия их эксплуатации. Сооружения перестраивали, приспосабливая к новым направлениям использования, прекращали эксплуатировать и, как следствие, промораживали и насыщали конструкции влагой, увеличивали и уменьшали нагрузки на основание. Они горели и разрушались в процессе войн и набегов. Их превращали в склады и тиры, жилые помещения и клубы, фабрики, водонапорные башни и учебные заведения и т.п. Соответственно менялись величины и режимы нагрузки на основания сооружений. Они становились меньшими или большими, динамическими или статическими и т.д. Иногда полностью разрушали наземную часть здания, и сохранялся только фундамент, подвальные помещения, коммуникации или их фрагменты. В некоторых случаях только по изменениям структуры и свойств техногенных отложений, индивидуальным особенностям структуры полей показателей свойств (в широком смысле) грунтов, геологической среды мы можем судить об особенностях ранее существовавшего сооружения. Такая инженерно-геологическая информация может весьма эффективно использоваться для решения “обратных” инженерно-геолого-археологических задач.

в. Архитекторы и строители памятников во время их возведения, сейчас это очевидно, недостаточно представляли себе инженерно-геологические условия строительства. Весьма показательным является сравнение оценок инженерно-геологических условий строительства сооружений, данных Витрувием в середине I в. до н.э. [1] и А. Палладио в 1570 году [5].

Можно предположить, что правила или рекомендации, предлагаемые двумя корифеями архитектуры, показывают уровень и динамику развития представлений об основаниях и фундаментах возводимых в их время сооружений.

Инженерно-геологические условия строительства сооружения оценивались архитекторами, руководившими в то время постройками сооружений, достаточно просто. Основным и, по сути, единственным оцениваемым элементом условий являлись грунты основания сооружения.

Для заложения фундамента Витрувий предлагает копать канаву до материка, а при необходимости и в материке, на глубину, соответствующую объему возводимой постройки. Если в основание сооружения попадает “земля болотистая” или “наносная”, то ее предлагается удалить и забить обожженными сваями как можно теснее, а промежутки между ними завалить углем. Под материком, по-видимому, Витрувий понимает “ненаносные” и “неболотистые” коренные или четвертичные достаточно литифицированные грунты [1, с.71].

Спустя полторы тысячи лет А. Палладио более подробно рассматривает и даже классифицирует грунты оснований сооружений. Он выделяет: “природные фундаменты” – камни, туф и scaranto (грунт с включениями камня), твердую почву, гравий, песок, разрыхленную землю, землю мягкую и болотистую [5, с.19]. По-видимому, это одна из первых инженерно-геологических классификаций грунтов. Можно отметить близость к ней первого уровня разделения грунтов (группы) в классификации пород (грунтов) Ф. П. Саваренского, выделяющего на уровне групп породы скальные, полускальные, мягкие связные, рыхлые несвязные и, наконец, мягкие и рыхлые породы особого свойства или состояния [9, с.19].

Природные фундаменты, по мнению А. Палладио, являются готовыми к использованию основаниями. Остальные – требуют дополнительной подготовки. Он указывает методы, которыми необходимо оценивать свойства и пригодность основания для строительства сооружения. К ним относятся: визуальные наблюдения за проходкой горных выработок (колодцев, котлованов под цистерны и др.); изучение растущих на исследуемом грунте трав; оценка проявлений динамических свойств грунтов при ударном воздействии. Предлагаются и специальные исследования: оценка сопротивления грунта резанию (искиметрия), оценка его размокания в воде. Эти указания являются первыми “вкладами в копилку” методов и методик современной методики инженерно-геологических исследований.

Заглубление фундаментов сооружений ставится в зависимость от их размеров и толщины стен. Палладио предлагает, “если почва окажется мягкой на значительную глубину...”, использовать какой-либо метод технической мелиорации в соответствии с методикой его реализации [5, с.19].

Сопоставление используемой А. Палладио методики оценки инженерно-геологических условий строительства сооружений с современной методикой исследований показывает возможность отсутствия у его коллег многих сведений, необходимых для оценки инженерно-геологических условий строительства сооружения, помогает вскрыть причины появления деформации исторических зданий.

Например, строительство трапезной с церковью Сергия Радонежского Троице-Сергиевой Лавры выполнялось, несомненно, в соответствии с методами, разработанными итальянскими архитекторами. Уникальное сооружение трапезной, перекрытое безстолпным пятнадцатиметровым кирпичным сводом, состоит из четырех разновесных блоков с диапазоном нагрузок на основании от 0.18 до 0.70 МПа. Расчетные сопротивления грунтов основания после забивки и последующей частичной или полной деструкции свай-“коротышей” оказалась равными 0.31 – 0.53 МПа. Очевидно, что здание испытывает неравномерную осадку, вследствие чего должно деформироваться и растрескиваться. Можно отметить еще один интересный факт. Строители трапезной отклонились от рекомендаций, предложенных Витрувием и А. Палладио, и забили сваи в 3 – 4 раза реже рекомендуемых значений. При правильной реализации итальянской технологии после сгнивания свай под зданием трапезной появились бы большие полости двухметровой глубины, которые могли привести к значительным деформациям здания. В настоящий момент величина “действительной свайной пустотности” (отношение объема пустот от сгнивших свай к объему включапющих их оснований сооружения) изменяется под зданием от 0 до 14% при “максимально возможной свайной пустотности” (отношение объема свай к объему включающих их оснований сооружения) от 4 до 22% [3]. Здание деформируется со скоростью 1 – 2 мм в месяц, но не разрушается.

г. Очевидно, кирпич, белый камень, дерево, другие строительные материалы не могут иметь одинаковый срок эксплуатации. Разные сроки “старения” имеют эксплуатируемые в различных условиях известняк, кирпич, металл и различные породы дерева, известковый раствор и бутовый камень. Даже один материал – кирпич, вследствие различных условий обжига, местоположения в обжигаемой партии, условий эксплуатации, разрушается не одновременно. Известняк только внешне однороден. На самом деле отдельные блоки известняка, полученные из одного месторождения, например Мячковского, по данным А. А. Ануфриева (1997) могут иметь существенно разные свойства, структуру, состав и состояние, и, соответственно, сроки разрушения. Основание многих исторических сооружений сложено разнообразными грунтами, имеющими разную несущую способность.

Забивка свай-“коротышей”, закрепление или выемка и удаление “слабых” грунтов – немногие методы технической мелиорации, рекомендованные итальянскими архитекторами. Сваи, во-видимому, в подавляющем большинстве случаев создавали значительный запас несущей способности грунтов, обеспечивали однородность основания, соответствие нагрузкам, идущим от сооружения. При их гниении запас несущей способности постепенно сменялся дефицитом [6].

Для улучшения свойств грунтов оснований монументальных сооружений с раннего средневековья до XIX века на Руси часто использовались именно деревянные сваи [8, с.27]. Дубовые или из хвойных пород дерева сваи длиной 0.7 – 2.2 м забивались в грунт основания сооружения, уплотняя его, повышая его несущую способность. Количество и толщина свай выбиралась, возможно, на основе оценки числа ударов, необходимых для забивки сваи, или состояния ее оголовка после забивки. Оценка параметров свайных полей с учетом толщины свай, выполненная для сооружений Троице-Сергиевой Лавры показала, что при забивке свай строители стремились получить максимально возможную плотность грунта (r) при его имеющемся состоянии – влажности (W), степени текучести (IL). Значения r, например, для покровных суглинков при W = 20 – 25%, даже после сгнивания свай, как правило, достигало 2.03 – 2.06 г/см3. В процессе длительного существования сооружений сваи, подвергаясь влиянию окружающей их среды, воздействию микро- и макроорганизмов – грибов, бактерий, червей, начинали гнить с разной скоростью, зависящей от конкретных условий, изменяющейся в значительных пределах даже на небольшом участке. Процесс разрушения свай рассмотрен достаточно подробно для разных памятников [6].

Гниение свай изменяет свойства основания сооружения в целом. В нем появляются полости, грунт пропитывается органическими остатками свайного фундамента, изменяются его W, r, IL и, как следствие, несущая способность. Эти изменения влияют на устойчивость сооружения.

Таким образом, имеется множество причин деформаций памятников. Разные инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации памятников, многообразие современных методов технической мелиорации предполагают разные методы инженерно-геологического изучения взаимодействующей с ними геологической среды.

Инженерно-геологическое изучение основания – одна из наиболее сложных задач, решаемых при оценке инженерно-геологических условий существования памятников. Сооружение построено, и основание малодоступно для традиционных, специальных лабораторных и полевых методов инженерно-геологических исследований. Поэтому при изучении структуры и свойств оснований памятников используются и стандартные, и часто достаточно специфические методы исследований:

А) визуальное обследование фундаментов и оснований сооружений из специально пройденных шурфов;

Б) горизонтальное и наклонное бурение скважин в грунтах оснований памятников с отбором образцов;

В) полевые испытания грунтов оснований памятников (in situ) методами статического и динамического зондирования;

Г) лабораторное изучение состава, состояния, структуры и свойств образцов грунта и других материалов, отобранных из основания сооружения;

Д) оценка гидрогеологических условий, режима и состава подземных вод;

Е) физическое лабораторное и полевое моделирование, математическое моделирование;

Ж) геофизические дистанционные, неразрушающие исследования.

Специфические условия работы и особенности каждого отдельного памятника вносят свою индивидуальную специфику в методику и состав применяемых методов получения информации. Инженерно-геологические исследования выполняются, как правило, в комплексе с конструкторским обследованием сооружения и, соответственно, анализом его структуры, а также археологическими исследовниями.

А. Шурфы проходят вплотную к стене вдоль фундамента и свайного основания с небольшим подкопом под здание и отбором образцов из грунтов основания, свай, натеков, грунтов, залегающих вблизи основания и пр. для лабораторных исследований, перографических, рентгено-структурных и др. анализов, фотодокументации, описания, построения разверток. В шурфах выполняют искиметрию и микропенетрирование. Из них проводят наклонное и горизонтальное, веерное и параллельное бурение и статическое зондирование, вертикальное динамическое зондирование, геофизические и гидрогеологические исследования.

Б. Бурение скважин для изучения состояния основания может выполняться с дневной поверхности и из шурфов под небольшим наклоном к стене сооружения и параллельно дневной поверхности с отбором керна.

Веерное и параллельное, наклонное и горизонтальное бурение из шурфа под основание сооружения достаточно эффективно выполняется с помощью ручного зонда РЗГ?2. Бурение производится короткими заходками пробоотборником диаметром 14 мм, длиной 55 мм. Полученные образцы грунта используются для лабораторных анализов.

В. Бурение грунтов особенно информативно в сочетании с зондированием. Например, оценку основания трапезной Троице-Сергиевой Лавры проводили из шурфов с помощью ручного зонда РЗГ?2, геофизических и лабораторных методов. Для участков здания, расположенных на песчаных грунтах, использовали горизонтальное и вертикальное бурение, а также вертикальное динамическое зондирование. Статическое зондирование выполняли веерным и параллельным способами коническим наконечником диаметром 14 мм с углом при вершине 60°. Сопротивление грунта статическому зондированию определяли манометром МТК на 0.1 МПа. При наличии в основании здания глинистых грунтов, применяли вертикальное и горизонтальное бурение, а также горизонтальное статическое и вертикальное статическое и динамическое зондирование. Для перехода от результатов оценки сопротивления зондированию, получаемых с помощью ручного зонда РЗГ?2, к стандартным, выполнили тарировочные исследования на тарированном участке Сергиев-Посадского полигона МГГА.

В результате проведенных работ для трапезной Троице-Сергиевой Лавры стали известны:

– особенности “инверсионной”, столбчатой структуры грунтов основания;

– четыре типа основания, учитывающих состояние, строение и свойства грунтов, а также расположение и состояние свай- “коротышей”;

– оценки “максимальной” и “действительной свайной пустотности”, изменяющиеся, соответственно, от 4 до 22% и от 0 до 14%;

– три инженерно-геологические элемента в пределах техногенных грунтов основания (ИГЭ 1.2 – 1.4);

– нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных параметров грунтов основания;

– расчетные сопротивления грунтов в пределах выделенных типов основания, изменяющиеся от 0.31 до 0.53 МПа.

Нагрузки на основание различных элементов здания, согласно расчетам Е. М. Шмакина, Р. У. Абасова, М. В. Полещенко и А. П. Ющенкова, изменяются от 0.18 до 0.70 МПа. Сопоставление параметров свойств и структуры основания трапезной с действующими на него нагрузками выявило причины и позволило объяснить особенности и перспективы опасных деформаций сооружения.

Г. В основном арсенал лабораторных методов, используемых при изучении оснований исторических сооружений, является стандартным, соответствующим требованиям нормативов. В последнее внемя он дополнен методами петрографического, минералогического, рентгено-структурного анализов.

Д. В значительнйо мере формирование и изменения инженерно-геологических условий памятников определяются гидрогеологическими условиями. Их оценка связана, как правило, с изучением состава и параметров режима вод техногенных отложений в фундаментах сооружения, верховодки и грунтовых вод, исследованием их влияния на миграцию гигроскопической, капиллярной и осмотической воды, формирование конденсатных вод и новообразований солей (“высолов”) [7].

Е. Экспериментальная оценка несущей способности грунтов оснований многих памятников затруднена или невозможна в связи с тем, что сооружение давно построено, а информации о свойствах грунтов основания недостаточно. Поэтому оценку напряженно-деформированного состояния грунтов в основании исторических сооружений можно выполнить методом лабораторного физического моделирования по следующей методике [2].

1. С помощью горных выработок открывают фундамент интересующего нас исторического сооружения и определяют параметры свайного поля: диаметр свай – D0; расстояние между сваями – L0; длину сгнившего отрезка сваи – h; длину сваи – H; а также r0 и W0 грунта под фундаментом.

2. Рядом с сооружением отбирают образцы грунта, использованного строителями для забивки свай. Оценивают W1 и r1 грунта в образцах и вычисляют необходимое количество (n) и диаметр моделей свай, позволяющих при забивке их в грунт, сохранить соотношения: r0 @ r1; W0 @ W1; D0/A0 @ D1/A1; где D1 и A1 – диаметр моделей свай и расстояние между их осями.

3. В грунт, помещенный в кольцо компрессионного прибора в лаборатории (или в площадку для испытания сжимаемости грунта штампом в полевых условиях), сохраняя указанные выше соотношения, забивают n моделей свай и оценивают полевыми или лабораторными методами сжимаемость (E2), r2 и W2 полученных моделей свайного основания исторического сооружения после забивки в него свай.

4. Вынимают модели сваи из грунта, находившегося в кольце компрессионного прибора или под штампом, и для этого грунта с помощью лабораторных или полевых методов определяют все перечисленные выше параметры (r4, W4, E4).

5. Полевыми или лабораторными методами определяют r5, модуль общей деформации (Е5) и мощность (m5) второго слоя грунта, залегающего под сооружением ниже первого слоя грунта со сваями, а также других нижележащих слоев грунта, обуславливающих осадку сооружения при строительстве и эксплуатации.

6. Используя метод математического моделирования напряженно-деформированного состояния многослойного основания сооружения под нагрузкой и полученные в лабораторных или полевых условиях параметры структуры основания (h, H-h, m5 и т.д.), плотности (r2, r4, r5 и т.д.) и сжимаемости (Е2, Е4, Е5 и т.д.) грунтов в основании сооружения, рассчитывают значения его осадки при различной длине отрезков сгнивших свай.

7. Исторические сооружения имеют, как правило, жесткие крестово-купольные или линейные конструкции. Для них опасны неравномерные осадки и сравнительно безопасны равномерные. Для различных участков сооружения по СНиП 2.02.01-83 определяют относительную разность осадок – Ds/L и ее погрешность – ma при интересующей нас доверительной вероятности a, где Ds – разность осадок, а L – расстояние между участками. Полученные для различных участков фундамента значения Ds/L, являющиеся характеристиками состояния отдельных интересующих нас участков основания сооружения, сравнивают с предельными деформациями основания – (Ds/L)u (прил. 4 СНиП 2.02.01-83) и оконтуривают участки основания, находящиеся в устойчивом состоянии – (Ds/L+ma)<(Ds/L)u, в предельном (Ds/L-ma)Ј(Ds/L)u Ј(Ds/L+ma) и в запредельном (Ds/L-ma)>(Ds/L)u.

8. Интенсивность гниения деревянных свай является непостоянной величиной, зависящей от условий их существования, свойств свай, особенностей контакта свай с фундаментом и т.п. В глинистых водонасыщенных грунтах в условиях плохого доступа кислорода этот процесс протекает со скоростью 0 – 2 см за 10 лет. В сухих песчаных грунтах, в зоне переменного увлажнения сваи гниют со скоростью 1 – 1.5 см в год. За 100 – 200 лет двухметровая свая может сгнить полностью.

На основе оценки состояния различных участков основания сооружения, полученной после расчета для каждого из них величины Ds/L, учитывая указанные скорости развития процесса гниения свай и состояние сооружения на момент оценки, определяют возможные интенсивность и направленность дальнейшего развития деформаций.

9. Определяют среднегодовую скорость развития процесса для разных участков сооружения (Ds/L/Т, где Т – возраст участка сооружения) и прогнозное приращение относительной разности осадок за время t путем расчета отношения Ds/L/Т. Сравнение значения Ds/L+Dst/L/T±ma с величиной (Ds/L)u позволяет выделить участки, имеющие перспективу стать опасными (предельными), и своевременно принять соответствующие меры. Прогнозную оценку состояния сооружения необходимо объединять с другими специальными методами. Значительную помощь в этом могут оказать периодическая оценка его технического состояния и стационарные наблюдения за изменениями положений отдельных элементов сооружения.

Приведенная методика была использована для оценки устойчивости западного прясла южной стены Троице-Сергиевой Лавры. В основании стены залегает 4-х метровая толща покровных суглинков (prQII-III). С помощью горных выработок было установлено, что 2-х метровые сваи, забитые в основание напольной стенки казематов № 2 и 9 южной стены Троице-Сергиевой Лавры в середине XVI в., полностью сохранились (h=0). Под построенной 100 лет спустя надворной стенкой тех же казематов сваи сгнили на 20-30 см от оголовков. В центральной части надворной стены под казематами №№ 7, 8 сваи сгнили не менее, чем на 1.3 м от поверхности. По данным лабораторных исследований плотность суглинков под сооружением 2.03 – 2.06 г/см3 и влажность – 20 – 30%. Расчеты напряженно-деформирован-ного состояния стены показали, что определяющим элементом конструкции является напольная стенка. Моделирование грунтового основания, включающее целые и частично сгнившие сваи, показало, что модули деформации грунта, уплотненного сваями до указанной выше плотности составил 31 МПа, со сгнившими сваями – 10 МПа, неуплотненного суглинка второго слоя – 7 МПа. Оценка изменения напряженно-деформированного состояния двухслойной толщи под передаваемой стеной нагрузкой (0.2 МПа) показала локализацию напряжений в верхнем более плотном слое и максимальную величину осадки в центральной части напольной стенки, не превышающей 5 см. Предельная (Ds/L)u здания с несущими стенами кирпичной кладки без армирования составляет 0.0020. Следовательно, можно полагать, что при длине участка стены (L) – 60 м, критическая Ds равна 12 см, что значительно больше 5 см. Таким образом, можно полагать, что при сохранении условий эксплуатации, основание стены находится и еще долго будет находиться в устойчивом состоянии.

Ж. Перспективными представляются геофизические дистанционные неразрушающие методы, основанные на измерении косвенных параметров. Одним из таких параметров является диэлектрическая проницаемость, значение которой в грунте в основном зависит от содержания воды. Дистанционная оценка диэлектрической проницаемости выполняется с помощью импульсного георадара с широкополосными щелевыми антеннами. Используемые сегодня георадары позволяют обнаружить трехмерно ограниченные объемы тел (сваи и др.), размер которых превышает 14 –20 см. Исследования выполняются на глубину 3 – 4 м. Оценка диэлектрической проницаемости грунта в основании гульбища трапезной Троице-Сергиевой Лавры позволила выявить местоположение и оценить состояние двух свай [4].

В 1995 г. сотрудниками НИИОСПа под руководством заведующего лабораторией И. В. Лаврова исследовалась изменчивость влажности и плотности грунтов изотопными нейтронным и гамма-гамма методами вблизи Успенского собора Троице-Сергиевой Лавры. Контроль точности выполняли с помощью стандартных лабораторных методов. Результаты исследований позволили оценить изменчивость влажности и плотности грунтов на глубину 3.3 м, проследить ее изменения во времени, выделить в нижней части техногенного слоя, на контакте с покровными суглинками текуче-пластичный прослой, аналогичный выявленному ранее в шурфе на другом участке Лавры, у Михеевской церкви.

В 1994 году професор МГГА Г. Н. Боганик и автор статьи севернее Успенского собора провели исследование инженерно-геологического разреза грунтов с помощью 24-х канальной цифровой компьюторизованной сейсмостанции. Результаты сейсмозондирования позволили в пределах 60-ти метрового профиля расчленить отложения на глубину 10 м и выявить имеющиеся в структуре техногенного слоя неодонородности.

Таким образом, исследования инженерно-гео-логических условий территории Троице-Сергиевой Лавры, основания и конструкций трапезной с церковью Сергия Радонежского, выполненные перечисленными методами, позволили в 1998 – 1999 г. специалистам ГСПИ, Мособлгеотреста, МГГА и ТОО “Экотехконтроль” оценить причины деформаций трапезной и эффективности использованных методов исследований.

Основной причиной образования многочисленных трещин в стенах, сводах и фундаментах, разрывов затяжек и связей храма является недопустимо большая разность осадок фундаментов различных частей здания, приведшая к большим деформациям его объема в целом и аварийному, постоянно ухудшающемуся состоянию отдельных конструкций.

В свою очередь, причиной недопустимой разницы в осадках явилось стечение следующих обстоятельств, приведших к крайне неблагоприятному состоянию системы основание – фундаменты – сооружение:

– изначально чрезмерно высокие напряжения под подошвами фундаментов от веса отдельных элементов здания (0.40 – 0.70 МПа);

– большой разброс фактических напряжений под подошвами фундаментов на различных участках здания (малая трапезная, основное помещение трапезной, церковь Сергия, гульбище);

– неоднородность грунтового основания храма, его свойств (несущей способнсоти, структуры и фильтрационных свойств и др.) в пределах четырех выделенных типов основания (А-II-2, Б-I-2, Б-I-3, Б-II-1);

– работа основания при напряжениях, превышающих расчетные сопротивления;

– конструктивные недостатки фундаментов, их малая пространственная жесткость, ограниченная способность к перераспределению нагрузок, малая прочность при работе на изгиб и растяжение, отсутствие деформационных швов;

– разуплотнение грунтов основания непосредственно под подошвой фундаментов за счет гниения свай;

– большой вес здания и его значительная протяженность;

– результаты хозяйственной деятельности, изменение влажности основания, неравномерное по площади здания, вызванное рядом причин (подъем уровня грунтовых вод после строительства шоссе, замощение территории, сооружение водонесущих коммуникаций с неизбежными утечками, земляные работы в разное время на прилегающей территории и пр.);

– нестационарный температурно-влажнсотный режим эксплуатации сооружения (отсутствие отопления здания в разные периоды, пожары).

Установленные причины деформаций Михеевской церкви, трапезной, южной оборонительной стены Троице-Сергиевой Лавры позволили разработать мероприятия по контролю и устранению деформаций сооружений. Многие выявленные причины деформаций типичны для других исторических сооружений, расположенных в аналогичных условиях, некоторые исключительно индивидуальны.

Рассмотренные методы исследований инженерно-геологических условий оснований исторических соружений во многих случаях универсальны и позволяют получить информацию, необходимую для оценки состояния, строения, свойств сооружений, и облегчить при необходимости их реставрацию или воостановление.

**Список литературы**

1. В.В. Дмитриев, профессор, доктор геолого-минералогических наук. Исследования инженерно-геологических условий памятников истории и культуры
2. Витрувий. Десять книг об архитектуре. М. 1936
3. Дмитриев В. В. Инженерно-геологическая оценка и методика прогноза состояния оснований исторических сооружений. Материалы международной научно-прак-тической конференции “Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды”. Пермь. 1997.
4. Дмитриев В. В., Ануфриев А. А., Крестинин А. А. Новые методы инженерно-геологических исследований и структура оснований некоторых исторических сооружений. Тезисы докладов международной конференции “Новые идеи в науках о земле”. № 4, 1999.
5. Дмитриев В. В. Применение георадара для исследования структуры оснсования исторического сооружения Троице-Сергиевой Лавры. Тезисы доклада Международной конференции “Новые идеи в науках о земле”. № 2, 1999, С. 227.
6. Палладио А. Четыре книги об архитектуре. М., 1938.
7. Пашкин Е. М., Кувшинников В. М., Никифоров А. А., Пономарев В. В. Природа формирования дефицита несущей способности и специфика инженерной защиты памятников архитектуры. “Геоэкология”. № 6. М., 1996. С. 3 – 17.ы
8. Пашкин Е. М., Ануфриев А. А., Кувшинни-ков В. М., Пономарев В. В., Телин О. В. Условия формирования высолов на памятниках архитектуры г. Москвы. “Геоэкология”, № 5. М., 1998.
9. Пашкин Е. М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. М., 1998.
10. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М., Л., 1937.