

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ОЦЕНКА ПРИ АНАЛИЗЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ В САНКТ- ПЕТЕРБУРГЕ

Шидловская Анна Валерьевна

*Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова
(технический университет), Санкт-Петербург, shidanna@mail.ru*

В 1990 г. исторический центр Санкт-Петербурга был включен в список объектов Всемирного культурного наследия и с этого времени находится под охраной ЮНЕСКО.

На современном этапе проблема охраны объектов Всемирного наследия в Санкт-Петербурге стоит особенно остро, так как исторический центр города представляет собой инвестиционно-привлекательный объект в сфере охраны и воссоздания историко-архитектурных комплексов и строительства новых объектов.

В настоящее время многие здания и сооружения, включая архитектурно-исторические памятники, испытывают длительные и незатухающие деформации. В числе таких архитектурно-исторических зданий Петропавловская крепость, Казанский собор, Исаакиевский собор, комплекс сооружений Стрелки Васильевского Острова и т.д.

Особенности функционирования исторических зданий и сооружений в Санкт-Петербурге объясняются не только их значительным возрастом (порядка 200-300 лет), но и сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, а также постоянно ухудшающейся экологической обстановкой в подземной среде города.

Территория исторического центра города практически полностью располагается на 19 островах Невской дельты и приурочена к нижней литориновой террасе с невысокими абсолютными отметками земной поверхности – от 0,5 м до 7,0 м. В разрезе нижней литориновой террасы выделяется сложностроенный комплекс четвертичных песчано-глинистых образований с включением торфов и заторфованных отложений.

Известно, что территория строящегося города была сильно заболочена. В 1705 г. около 1/5 территории современного Санкт-Петербурга было занято труднопроходимыми болотами. Топкие болота находились на месте современного Казанского собора, вблизи Гостиного Двора между Думской улицей и Апраксиным переулком и т.д.

В пределах центральной части Санкт-Петербурга могут быть выделены определенные зоны, в пределах которых интенсивная техногенная нагрузка на основные компоненты подземного пространства (ПП) прослеживается на протяжении нескольких веков. Длительная степень техногенной пораженности

ПП (300 лет и более) отмечается на Заячьем и Адмиралтейском островах, юго-восточной части Петроградского и восточной части Васильевского островов, а также в материковой части в районе расположения крепости Ниеншанц и города Ниен.

Характерная особенность строения подземного пространства города – наличие погребенных долин различной глубины и протяженности, связанных с системой региональных тектонических разломов. Палеодолины занимают большую часть островной территории города: на Адмиралтейском – 95 % от общей площади острова; на Васильевском и Спасском – 60 %; на Петровском – 20 %. В пределах погребенных долин отмечается максимальная мощность генетически слабых четвертичных отложений (до 120 м), выделяется три толщи моренных образований: лужской, московской и днепровской (сверху вниз). Лужская морена, которая в генеральном плане развития Санкт-Петербурга до 2025 г. рассматривается как надежное основание, в пределах островной территории города характеризуется значительной загрязненностью органическими компонентами биотического и абиотического генезиса. Такие морены имеют низкие углы внутреннего трения (до $3-5^{\circ}$) и величины сцепления (до 0,03-0,04 МПа), а также ярко выраженный пластический характер развития деформаций. Песчаные разности – литориновые пески и супеси в разрезе островной части при накоплении в них бактериальной массы в условиях застойного гидродинамического режима, а также биохимического газообразования обладают плавунными свойствами. Коэффициент фильтрации песков снижается до $10^{-3}-10^{-4}$ м/сутки, а угол внутреннего трения до $12-14^{\circ}$.

Длительное и интенсивное загрязнение подземного пространства исторической части города, связанное с утечками из систем водоотведения, захороненных свалок и участков гидросети, ликвидированных и действующих кладбищ, приводит к загрязнению подземных вод и преобразованию пород. Подобные негативные изменения основных компонентов подземного пространства под воздействием изменения физико-химических и биохимических факторов вызывают развитие и/или активизацию экзогенных геологических процессов – плывуны, тиксотропия, газогенерация, оползневые смещения, усиление коррозионной активности подземной среды и др.

Проведенные исследования показали, что развитие деформаций зданий и сооружений происходит под воздействием давления от сооружения, вибрационных нагрузок, физико-химических, биохимических и гидродинамических факторов в подземной среде и складывается из следующих составляющих:

$$S_{\text{общ}} = S_1 + S_2 \pm S_3 \pm S_4 + S_5 + S_6 + S_7$$

где S_1 – деформации пород основания под действием статических нагрузок;

S_2 – деформации основания за счет вибрационных воздействий транспорта, строительных работ (разжижение, возникновение тиксотропии);

S_3 – знакопеременные деформации за счет газо-динамического давления при образовании малорастворимых биохимических газов;

S_4 – знакопеременные деформации в результате физико-химических и химических процессов (разрушение структурных связей в песчано-глинистых породах за счет изменения окислительно-восстановительных условий подземной гидросферы, набухание глинистых отложений);

S_5 – деформации пород основания под воздействием биохимической деятельности (формирование плывунов, реконсолидация и разуплотнение глинистых пород, снижение прочности и рост деформируемости пород, развитие тиксотропных явлений);

S_6 – деформации в результате изменения эффективных напряжений под воздействием варьирования гидродинамического режима подземных вод;

S_7 – деформации несущих конструкций зданий и сооружений под действием коррозионных процессов, в том числе биокоррозии.

Инженерно-геологические и геоэкологические факторы, оказывающие влияние на длительную устойчивость архитектурно-исторических памятников могут быть систематизированы, что показано на рис. 1.

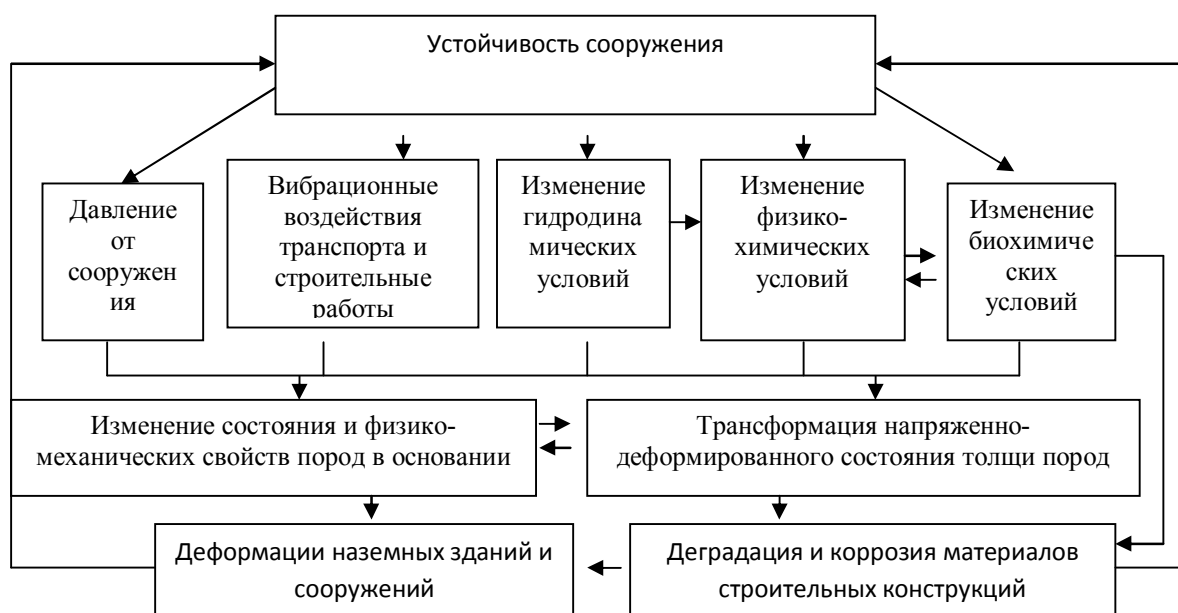


Рис. 1. Инженерно-геологические и геоэкологические факторы длительной устойчивости архитектурно-исторических памятников.

Рассмотрим особенности функционирования Петропавловского (1712–1733 гг.) и Казанского (1801-1811 гг.) соборов. Характер и степень развития деформаций Петропавловского собора свидетельствуют о критическом

состоянии его несущих конструкций, критерии оценки которого не находят должного отражения в действующих ТСН. Несущие конструкции Казанского собора испытывают неравномерные и длительные деформации, развивается процесс трещинообразования в чугунных базах колонн.

Общая характерная особенность двух вышеназванных соборов - размещение в пределах нижней литориновой террасы с низкими абсолютными отметками дневной поверхности от 0,5 до 3,2 м. При этом, Заячий остров находится вне зоны погребенной долины Пра-Невы, а территория Казанского собора относится к бортовой части погребенной долины. Соответственно коренные отложения – верхнекотлинские глины венда вскрываются на глубинах 26–29 метров (для Петропавловского собора) и 31-40 метров (для Казанского собора). В разрезе основания двух соборов прослеживается сложнопостроенный комплекс современных, позднеледниковых и ледниковых песчано-глинистых пород, преимущественно малой степени литификации, перекрытых техногенными образованиями 18–19 вв. Для Заячьего острова характерна значительная мощность техногенных отложений, достигающая на отдельных участках 8 метров.

Территория Заячьего острова начинала застраиваться с 1703 года, одновременно с началом основания Санкт-Петербурга. История освоения территории современного Казанского собора начинается также с начала 18 века, когда в 1737 г. во времена правления Анны Иоанновны была построена церковь Рождества Богородицы по проекту арх. Земцова на месте расположения фонтана перед Казанским собором.

Казанский и особенно Заячий острова характеризуются высокой степенью концентрации на их территории объектов загрязнения подземного пространства, среди которых по степени негативного воздействия выделяется региональная система водоотведения, несовершенство которой привело к загрязнению вмещающих и нижележащих пород на значительную глубину.

Специфический состав грунтовых вод Заячьего и Казанского островов свидетельствует об их загрязнении компонентами канализационных стоков. Подобный вид загрязнения приводит к значительному преобразованию песчано-глинистых пород, переводя их в разряд более слабых отложений с постепенным снижением несущей способности. Результатом воздействия канализационных стоков на песчаные отложения является формирование в них плавунных свойств за счет сорбции коллоидных фракций на песчаных частицах и генерации малорастворимых биохимических газов – метана и азота. Так, например, при устройстве фонтана около Казанского собора отмечался выброс метана.

В грунтовых водах основания Петропавловского и Казанского соборов фиксируется повышенное содержание кальция и магния, а также высокая жесткость воды, что обычно нехарактерно для грунтовых вод города вне зоны

загрязнения и свидетельствует об активном выщелачивании этих элементов из известняков, а также известковых растворов бутовой кладки. Так, например, обследование материалов фундаментов Петропавловского собора показало их крайне неудовлетворительное состояние. Отмечалось просачивание через фундамент воды, похожей на разбавленное молоко, содержащей взвешенный гидроксид кальция, что свидетельствовало о вымывании растворов и выщелачивании преобразованных известняков. Содержание щелочноземельных элементов – Ca^{2+} и Mg^{2+} в грунтовых водах около собора достигает 132 мг/л и 29 мг/л соответственно.

Негативная трансформация пород в основании Петропавловского и Казанского соборов и разрушение фундаментов приводит к развитию длительных и неравномерных осадок, вызывает развитие трещин в его несущих конструкциях. Расчеты показывают, что относительная неравномерность осадок между несущими конструкциями Петропавловского собора в 6-12 раз превышает значения, регламентируемые СНиП 2.02.03–85.

Развитие деформаций Казанского собора подтверждается данными о нивелировании 29 деформационных реперов, заложенных в стенах основного здания и колоннаде. Техническое состояние собора относится к 2 индексу согласно действующим ТСН 50-302-2004, однако осадка собора значительно превышает установленные нормы в 3 см. Наличие трещин в фундаментах способствует более глубокому проникновению и развитию в стенах и фундаментах зданий микроорганизмов, поступающих при капиллярном поднятии грунтовых вод вместе с питательными компонентами.

В исследуемых пробах кирпича, известняка, строительного раствора из зданий и сооружений Петропавловской крепости было обнаружено 39 видов микромицетов, большинство из которых являются активными биодеструкторами строительных материалов. Кроме того, значительная роль микроорганизмов в деградации материалов подтверждается данными водных вытяжек, приготовленных из тех же образцов, в которых обнаружено высокое содержание нитратов (до 124 мг/л), сульфатов (до 95 мг/л), гидрокарбонатов (до 397 мг/л) и органических соединений (перманганатная окисляемость достигает 45 мг O_2 /л).

Прогноз длительной устойчивости архитектурно-исторических памятников, в том числе Петропавловского и Казанского соборов должен проводиться на базе создания системы инженерно-геологических и геоэкологических наблюдений и контроля за их функционированием – объектного мониторинга.

Работа выполнена при поддержке гранта № 2.2.2.3.10055 Минобрнауки России и науки РФ, а также американского фонда CRDR.