УДК 624.131:551.435:556.3:624.131.43

А.В.ШИДЛОВСКАЯ
Геолого-разведочный факультет,
аспирантка кафедры гидрогеологии
и инженерной геологии

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЕТРОПАВЛОВСКОГО СОБОРА НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Проанализированы инженерно-геологические и геоэкологические условия территории архитектурно-исторического комплекса Петропавловской крепости, расположенного на Заячьем острове. Проведен историко-экологический анализ особенностей освоения территории крепости, в том числе строительства и эксплуатации Петропавловского собора. Выделены основные загрязнители подземного пространства острова, оказывающие негативное влияние на состояние и свойства песчано-глинистых грунтов в основании собора, подземные воды и строительные материалы. Выполнен расчет устойчивости Петропавловского собора. Показано, что развитие длительных и неравномерных осадок собора вызвано трансформацией грунтов в его основании и разрушением фундамента. Предлагается организация системы объектного мониторинга Петропавловского собора.

Engineering geological and geoenvironmental conditions of the Peter and Paul Fortress architectural and historical complex, located on Zayachiy Ostrov (The Hare Island) are analyzed. A historical and ecological analysis of the territory development peculiarities, including the Peter and Paul Cathedral construction and operation is carried out. Principal contaminants of underground space that have a negative impact on the state and properties of sandy and clayey soils, groundwater and building materials are defined. Stability of the Peter and Paul Cathedral is calculated. It is demonstrated that development of long-term and unequal settlement of the Peter and Paul Cathedral is caused by negative transformation of soils at its base and destruction of its foundation. Introduction of a monitoring system for the Peter and Paul Cathedral is proposed.

Петропавловский собор служит центральной композицией архитектурного ансамбля Петропавловской крепости, расположенной на Заячьем острове. Одна из характерных особенностей острова – его размещение в пределах нижней литориновой террасы с наиболее низкими для города абсолютными отметками дневной поверхности (от 0,5 до 3,2 м). Заячий остров находится вне зоны погребенной долины Ра-Невы и соответственно коренные отложения – верхнекотлинские глины венда вскрываются на глубинах 26-29 м. В разрезе четвертичных отложений прослеживается сложнопостроенный комплекс современных, позднеледниковых и ледниковых песчано-глинистых грунтов, преимущественно малой степени литификации, перекрытых техногенными образованиями XVIII-XIX веков мощностью до 8 м.

Заячий остров площадью всего 26 га характеризуется высокой степенью концентрации на его территории объектов загрязнения подземного пространства, среди которых основными являются: система водоотведения и Кронверкская канализационная насосная станция, Комендантское кладбище и Монетный двор.

Строительство Петропавловского собора на Заячьем острове было начато с возведения фундамента сразу под все здание. В первую очередь, по настоянию Петра I, строилась колокольня, а к созданию самого собора приступили через четыре года, в 1716 г. Когда начали кладку стен собора, колокольню еще продолжали строить и, со-

гласно архивным данным, ее осадка развивалась во времени*. Деформации Петропавловского собора отмечались уже при завершении его строительства. По историческим данным, после 40 лет функционирования собора между колокольней и основным зданием стали образовываться трещины. В настоящее время северный и южный фасады собора прорезаны многочисленными вертикальными и наклонными трещинами с раскрытием более 30 мм. Согласно территориально-строительным нормам (ТСН 50-302-96), существует три категории оценки технического состояния кирпичных зданий в зависимости от повреждений конструкций и степени физического износа стен. Однако характер и степень развития деформаций Петропавловского собора свидетельствуют о критическом состоянии его несущих конструкций, критерии оценки которого не находят должного отражения в действующих ТСН.

При разработке общей стратегии реконструкции Петропавловского собора с целью обеспечения его сохранности принципиальное значение имеют его конструктивные особенности, состояние подземных несущих конструкций и грунтов в основании. Отдельные элементы собора: наружные стены, колоннада и колокольня – возведены на фундаментах различных типов, заглубленных в пески и супеси, содержащие природную и техногенную органику. Обследование материалов фундаментов Петропавловского собора показало их крайне неудовлетворительное состояние. Отмечалось просачивание через фундамент воды, похожей на разбавленное молоко и 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 соответственно 132 и 29 мг/л.

Специфический состав грунтовых вод (см. таблицу) свидетельствует об их загрязнении канализационными стоками, поступающими в подземное пространство за счет утечек из систем водоотведения и Кронверкской канализационной насосной станции. Подобный вид загрязнения приводит к значительному преобразованию песчано-глинистых грунтов, переводя их в разряд более слабых отложений с постепенным снижением несущей способности. Результатом воздействия канализационных стоков на песчаные грунты в основании собора является формирование в них плывунных свойств за счет сорбции коллоидных фракций на песчаных частицах и генерации малорастворимых биохимических газов – метана и азота.

Химический состав грунтовых вод Заячьего острова

Элемент анализа	Единица измерения	Номер скважины		
		2501	2502	6282
Ca^{2+}	мг/л	80,0	132,0	116,2
Mg^{2+}	мг/л	12,0	27,6	29,2
$K^{+}+Na^{+}$	мг/л	11,5	147,2	227,7
NH_4^{+}	мг/л	2,6	1,9	-
SO_4^{2-}	мг/л	41,1	57,5	163,3
Cl^{-}	мг/л	35,4	226,9	127,9
HCO_3^{-}	мг/л	231,8	427,0	677,3
NO_3^{-}	мг/л	<0,45	0,5	-
NO_2^{-}	мг/л	0,022	0,032	-
Минерализация	мг/л	418,4	770,2	1004,4
Жесткость общая	мг-экв/л	5,8	7,6	23,0
$Fe^{2+}+Fe^{3+}$	мг/л	7,2	13,8	1,5
Окисляемость	мг O_2/л	64,0	32,0	-
$CO_{2агрес}$	мг/л	4,4	13,2	8,8
pH	-	7,4	7,1	7,17
Eh	мВ	-107	-94	-

Примечание. Значения pH приведены по результатам измерений в лаборатории, Eh – в полевых условиях. Скважины 2501 и 2502 – режимная сеть (данные СПГГИ); скважина 6282 расположена около западного фасада Петропавловского собора (данные треста ГРИИ).

Выполненная оценка специфики развития деформаций Петропавловского собора с использованием параметров прочности, полученных по неконсолидированной схеме испытания в стабилометре для грунтов одного и того же генезиса и состава в сходных геоэкологических и инженерно-геологических условиях, показала, что давление от сооружения (p = 0,387 МПа), в данном случае

* *Трофимов С.В.* Петропавловский собор. Усыпальница русских императоров. СПб: Белое и черное, 1998.

колоннады собора, превышает расчетное сопротивление грунта несущего слоя (R = 0,207 МПа), определенного при условии, что ширина фундамента b = 4 м, глубина заложения $h_ф$ = 3,4 м, сцепление c = 0,015 МПа и угол внутреннего трения φ = 14°. В таком случае при $p > R$ грунты основания работают на 2-й стадии деформирования – стадии сдвигов, что определяет развитие деформаций сооружения с постоянной скоростью.

Следовательно, негативная трансформация грунтов в основании Петропавловского собора и разрушение его фундаментов приводит к развитию длительных и неравномерных осадок, вызывает образование трещин в несущих конструкциях. Расчеты показывают, что относительная неравномерность осадок между несущими конструкциями собора в 6-12 раз превышает значения, регламентируемые СНиП 2.02.03-85. Наличие трещин способствует более глубокому проникновению и развитию в стенах и фундаментах зданий микроорганизмов, поступающих при капиллярном поднятии грунтовых вод вместе с питательными компонентами. Выполненные специальные исследования выявили активное разрушение строительных материалов наземных конструкций некоторых зданий и сооружений Петропавловской крепости за счет деятельности микроскопических грибов (микромицетов) и бактерий. В исследуемых пробах кирпича, известняка, строительного раствора 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 них 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 устойчивости и сохранности Петропавловского собора, а также рекомендации по его реконструкции должны базироваться на организации и внедрении объектного мониторинга, который предлагается развивать по следующим направлениям:

1) режимные наблюдения за изменением уровня, состава и агрессивности грунтовых вод в имеющейся скважине режимной сети возле Комендантского кладбища и двух дополнительно оборудованных скважинах около северной стороны собора);

2) наблюдения за биохимической газогенерацией в районе засыпанного канала с тампонированием устья скважин для их полной изоляции;

3) геодезические наблюдения за осадками, включающие установку поверхностных реперов по периметру собора для оценки деформаций дневной поверхности и марок в цоколе собора с шагом 10 м;

4) создание временных створов по оценке изменения состояния и свойств грунтов в основании собора и их загрязнения, в том числе микробиологической пораженности;

5) неразрушающий контроль за состоянием кладки фундамента Петропавловского собора.

Научный руководитель д.г-м.н. проф. *Р.Э.Дашко*