УДК 624.131:551.3

О.Ю.АЛЕКСАНДРОВА
Геолого-разведочный факультет,
группа РГОм-96, ассистент профессора

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИЙ НЕКОТОРЫХ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (НА ПРИМЕРЕ ИСААКИЕВСКОГО СОБОРА)

Анализируются причины деформаций одного из важнейших архитектурно-исторических памятников и святынь Санкт-Петербурга – Исаакиевского собора. Описана история строительства собора, его конструктивные особенности, особое внимание уделено устройству фундаментов этого уникального сооружения. Рассмотрены основные природные и техногенные факторы, которые играют негативную роль в развитии длительных и неравномерных деформаций собора. Подчеркивается, что наличие слабых песчано-глинистых грунтов и отсутствие их фильтрационной консолидации предопределило нестабилизированное состояние грунтов в основании собора. Утечки из систем водоотведения способствуют активному загрязнению грунтовых вод и предопределяют снижение прочности и показателей деформационных свойств грунтов. Состав грунтовых вод свидетельствует об активном выщелачивании доломитизированных известняков путиловской плиты, которые были использованы при строительстве фундаментов. Выполненные расчеты показали, что основание собора работает в стадии пластического деформирования, сопровождающегося отдавливанием грунтов из-под фундамента. Выполнены расчеты максимальной и средней величины осадок на базе рассмотрения грунтов как линейной и нелинейной среды. Показано, что наиболее рациональным средством защиты для предупреждения развития дальнейшей деформации собора является устройство конструкции «стена в грунте».

The article analyses causes of deformations and a nature of their development in time of the St Isaacs Cathedral, one of the most important architectural and historical monuments of St Petersburg. The history of its construction, its constructional peculiarities are outlined briefly, much attention is paid to the structure of its foundation. Main natural and technological factors, which play negative part in development of prolonged and uneven deformations of the cathedral are considered in the article. It is emphasized that weak clay-sand grounds which do not consolidate due to filtering are the main cause of unstability of ground right below the cathedral. Leakage of drainage systems actively pollute ground waters and promote deterioration of solidity of grounds and indexes of deformational qualities. Composition of ground waters says of active dealkalization of dolomitized limestones of Putilov plate used in construction of foundations. Calculations showed that the grounds under the cathedral work in a regime of plastic unstability accompanied with their outsqueezing. The maximum and mean values of lowering are calculated on the basis of considering grounds as linear and non-linear environment. It is shown that the most rational remedy to prevent further deformations of the cathedral is construction of the system «wall in the ground».

В настоящее время состояние примерно 80 % памятников архитектуры в Санкт-Петербурге характеризуется как неудовлетворительное, что требует принятия срочных мер по их спасению от повреждений и разрушений. Среди них такие сооружения как Исаакиевский и Казанский соборы, здание Нового Эрмитажа, Адмиралтейство и др. В

большинстве случаев причиной такого состояния является снижение несущей способности грунтов в основании сооружения, разрушение фундаментов и несущих конструкций в результате проявления коррозионных процессов, связанных, в основном, со спецификой ухудшения геоэкологического состояния в подземном пространстве города.

Строительство Исаакиевского собора началось в 1768 г. по проекту архитектора А.Ринальди. Здание собора, сооруженное по проекту А.Ринальди, могло бы стать лучшим его произведением, однако он не смог закончить работу, и в 1802 г. строительство собора завершил архитектор В.Бренна. Он уменьшил размеры здания и отказался от устройства малых куполов. Собор получился приземистым и не соответствующим парадному облику центральной части Санкт-Петербурга, что уже в 1809 г. вызвало необходимость перестройки здания с сохранением части фундаментов по желанию Александра I. В 1825 г. с многочисленными коррективами был утвержден проект архитектора О.Монферрана, который предполагал сохранение фундаментов алтарной части собора и подкупольных пилонов. Увеличение здания намечалось лишь в длину, ширина оставалась прежней. Устройство фундаментов началось со вскрытия пятиметрового котлована и забивки сосновых свай диаметром 26 см длиной 6,4 и 10,7 м. Под несущими конструкциями и углами здания фундамент был выложен гранитными плитами, под портиками чередовались ряды из бутовой кладки известняка с рядами гранитных блоков, в остальной части фундаменты представлены бутовой кладкой известняка. Массивная часть плиты была поднята более чем на 2 м над дневной поверхностью. В толще фундамента (7,5 м) были устроены галереи размерами 2,5 × 2,5 м. Строительство собора было завершено в 1841 г., еще 17 лет продолжалась внутренняя отделка собора. Общая длина собора с портиками составила 102 м, ширина 92 м, общий вес 300 тыс.т, из них 100 тыс.т приходится на массивную кладку фундамента. Исаакиевский собор – самое тяжелое здание в Санкт-Петербурге.

Территория размещения Исаакиевского собора приурочена к низкой Литориновой террасе, в районе склона левого борта глубокой погребенной долины Пра-Невы. Для выяснения разреза были изучены материалы изысканий, проведенных еще в 1954 г., когда были пробурены четыре скважины в углах собора. Верхнекотлинские глины венда были вскрыты только в юго-восточной части здания на глубине 46 м. Четвертичные отложения представлены ледниковыми образованиями лужской морены мощностью более 23 м, озерно-ледниковыми отложениями Балтийского ледникового озера и осадками Литоринового моря, перекрытыми техногенными грунтами мощностью до 3 м. Абсолютные отметки кровли моренных отложений и подошвы озерно-ледниковых и литориновых отложений имеют закономерное снижение на северо-восток, т.е. в направлении тальвега погребенной долины, в том же направлении возрастают мощности этих образований. В разрезе выделены единый водоносный горизонт грунтовых вод, приуроченный ко всем литологическим разностям послеледниковых отложений, и напорные воды в виде линз в моренных отложениях.

Формирование химического состава подземных вод определяет ряд техногенных факторов: наличие застойного гидродинамического режима, а также загрязнение за счет утечек из систем водоотведения, которые широко развиты вокруг собора. Повышенные содержания кальция (до 84 мг/л) и магния (до 77,8 мг/л) в пробах, не характерные для грунтовых вод в пределах города, свидетельствуют о выщелачивании последних из известняков массивной части фундамента и раствора кладки. Высокие значения соединений серы (200,8 мг/л), хлоридов (384,5 мг/л), а также перманганатной окисляемости (26,1 мг O_2/л) говорят о загрязнении канализационными стоками, что приводит к существенному ухудшению состояния и свойств дисперсных пород за счет активизации физико-химических и биохимических процессов. Литориновые супеси и озерно-

ледниковые суглинки, имеют текучую, реже текучепластичную консистенцию. Глинистые грунты обладают ярко выраженными тиксотропными свойствами и низкими параметрами прочности [1]: близким нулю углом внутреннего трения и сцеплением 0,015-0,025 МПа.

Уникальное по своим конструктивным решениям здание Исаакиевского собора на протяжении многих десятилетий вызывало беспокойство с точки зрения надежности обеспечения его устойчивости (рис.1). Еще до окончания строительства собора было обнаружено, что западная часть собора оседает больше, чем восточная [3]. В дальнейшем неравномерность осадки усилилась, вызывая развитие трещин в несущих подкупольных пилонах, наклон портиков, деформации и разрушение колонн. На протяжении всего периода существования собора велись реставрационные работы с устранением видимых причин разрушения. Более 160 лет наблюдается развитие неравномерных деформаций Исаакиевского собора. Согласно нивелировке стен подвалов, проведенной в 1927 г., отмечается рост осадки с востока на запад в северном и южном коридорах. Относительная разность отметок точек, расположенных в северо-восточном и юго-западном углах здания, на расстоянии 90 м друг от друга, составляет 0,005, что по нормам СниП является предельно допустимой величиной для зданий с несущими стенами из кирпичной кладки. Данные нивелировки пола портиков показывают, что при осадке основного корпуса собора они опустились вместе с ним и получили крен в сторону массивной части здания. Нивелировка прокладных рядов четырех подкупольных пилонов показала, что осадочное движение средней части собора идет также с северо-востока на юго-запад. Зафиксировано отклонение яблока под крестом с востока на запад на 270 мм. В 1983 г. по результатам съемки территории, примыкающей к зданию собора было зафиксировано наличие «осадочной воронки» и выпора грунта [4]. Наибольшая разность отметок поверхности составила 0,85 м (рис.2). Развитие деформаций выпора обычно характерно для малолитифицированных глинистых пород при относительном заглублении фундамента менее 1,5. Для Исаакиевского

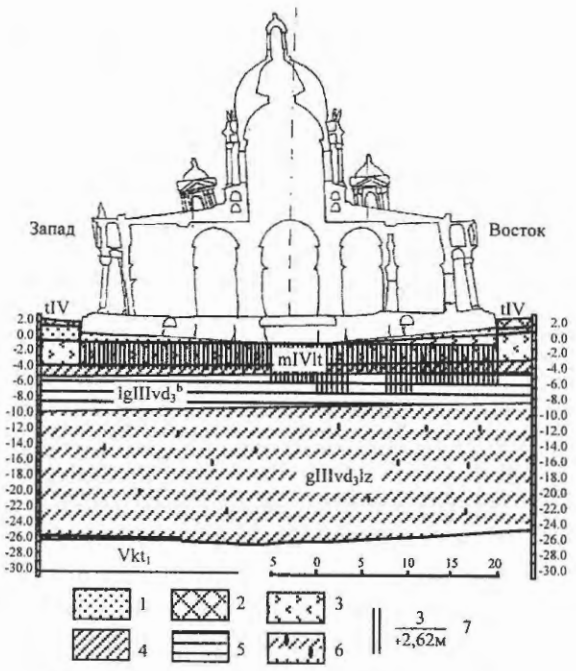


Рис.1. Разрез основания Исаакиевского собора с указанием особенностей его деформирования

1 и 2 – пески пылеватые и среднезернистые соответственно; 3 и 4 – супеси и суглинки пылеватые; 5 и 6 – суглинки пылеватые соответственно ленточные и с гравием и галькой; 7 – скважина (в числителе – номер, в знаменателе – абсолютная отметка устья)

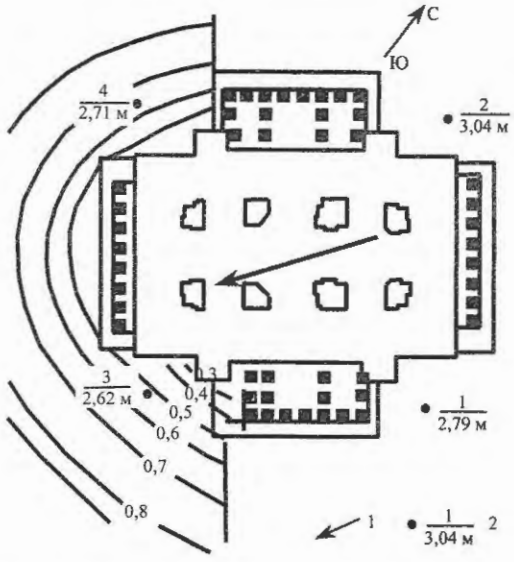


Рис.2. Результаты нивелирной съемки поверхности территории вокруг Исаакиевского собора (С.Н.Сотников, 1986)

1 – направление осадочного движения; 2 – скважина (в числителе – номер, в знаменателе – абсолютная отметка устья)

собора относительное заглубление составляет только 0,06, что подтверждает возможность выпора.

Для водонасыщенных глинистых грунтов, в которых коэффициент скорости консолидации менее 10^7 см^2/год, фильтрационная консолидация в толще основания протекает замедленно. Уплотнение пород обычно происходит в узкой локальной зоне согласно величине градиента начала фильтрационной консолидации, который в нашем случае составляет около 50, следовательно, мощность зоны уплотнения под фундаментом не превышает 20 см [2]. По всей вероятности, песчано-глинистые грунты в основании Исаакиевского собора находятся в неконсолидированном состоянии и обладают низкими параметрами прочности, которые были использованы при определении критических нагрузок на основание и, прежде всего, расчетного сопротивления. Для озерно-ледниковых отложений как квазипластичной среды расчетное сопротивление меньше давления от сооружения. Второе критическое давление, превышение которого приводит к выпору, близко к давлению от сооружения. Соответственно грунты в основании собора работают на стадии развития пластических деформаций, что подтверждается данными наблюдений и геодезических замеров.

Расчет средней величины осадки был выполнен с учетом пластических деформаций по формуле И.А.Розенфельда. Осадка за весь период существования собора составила 80 см [2]. Однако наибольшая осадка может превышать 1 м, что было подтверждено расчетом осадки с учетом залегания в пределах сжимаемой толщи вендских глин как жесткого малодеформируемого слоя. На основании проведенных исследований можно полагать, что осадка Исаакиевского собора продолжается и поныне и определяется развитием длительных и незатухающих деформаций ползучести грунтов в основании сооружения.

В настоящее время необходимость сохранения уникального памятника архитектуры требует проведения специализированных исследований, направленных на изучение влияния длительного техногенного преобразования грунтов, степени агрессивности грунтовых вод по отношению к строительным материалам фундамента, на основании которых можно будет судить о масштабах негативных изменений за период существования собора. Необходимо проводить также регулярные геодезические наблюдения за развитием осадки и выпора. В целях предотвращения развития осадки и устранения ее неравномерности возможно устройство «стены в грунте» по периметру собора до глубины 50 м и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дашко Р.Э.* Механика горных пород. М., 1987.

2. *Бутиков Г.П.* Исаакиевский собор / Г.П.Бутиков, Г.А.Хвостова. Л., 1974.

3. *Никитин Н.П.* Огюст Монферран. Л., 1939.

4. *Сотников С.Н.* Осадка Исаакиевского собора // Фундаментостроение в условиях слабых грунтов: Межвуз. сборник. Л., 1986.

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