

На правах рукописи

ГОРСКАЯ ВАЛЕНТИНА АЛЕКСЕЕВНА



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ИСТОРИЧЕСКОГО АСПЕКТА ОСВОЕНИЯ И
КОНТАМИНАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

*Специальность 25.00.08 – Инженерная геология,
мерзловедение и грунтоведение*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Дашко Регина Эдуардовна

Официальные оппоненты:

Вязкова Ольга Евгеньевна – доктор геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ), кафедра инженерной геологии (г. Москва), профессор

Шашкин Константин Георгиевич – кандидат технических наук, ООО «ПИ Геореконструкция» (г. Санкт-Петербург), главный специалист по геотехнике

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита состоится 25 декабря 2017 г. в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.11 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 25 октября 2017 г.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета**



**ШИДЛОВСКАЯ
Анна Валерьевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность.

Освоение и использование подземного пространства (ПП) Санкт-Петербурга, в том числе строительство новых сооружений, сохранение и реконструкция старинных зданий и архитектурно-исторических памятников должны базироваться на учете его пяти компонентов: грунты, подземные воды, микробиота, газы и подземные конструкции. Динамичность преобразования компонентов подземной среды определяет сложность инженерно-геологических и гидрогеологических условий, скорость их преобразования во времени и пространстве при техногенном воздействии: изменении напряженно-деформированного состояния (НДС) пород, трансформации окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановок, деятельности природной и привнесенной микробиоты, развитии и/или активизации природно-техногенных процессов. Уровень опасности возможных трансформаций компонентов ПП должен быть проанализирован в зависимости от особенностей взаимодействия подземной среды с проектируемыми и/или реконструируемыми сооружениями, принимая во внимание степень их ответственности и класс капитальности. При этом особое значение приобретает длительность контаминации подземных вод, грунтов и конструкций, исторический аспект которой имеет особую важность при инженерно-геологическом анализе и оценке состояния компонентов ПП старинных городов, насчитывающих сотни лет своего существования.

Цель работы. Установление закономерностей преобразования компонентов подземного пространства для повышения безопасности его освоения и использования с учетом исторического аспекта контаминации в допетровский период и в процессе развития и функционирования мегаполиса.

Основные задачи исследований:

1. Анализ особенностей освоения и использования территории островной и материковой частей мегаполиса в допетровское время, а также в период строительства и функционирования города.

2. Выделение основных постоянно действующих

источников контаминации подземного пространства города до 18 века и в процессе развития городской инфраструктуры.

3. Изучение специфики контаминации подземных вод в различные периоды освоения территории для оценки их воздействия на водовмещающие грунты и коррозию конструкционных материалов.

4. Экспериментальное исследование влияния основных контаминантов на преобразование состава, состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов.

5. Выявление и выделение наиболее контаминированных зон в пределах подземного пространства города для повышения безопасности его освоения и использования, а также устойчивости эксплуатируемых сооружений, в первую очередь, архитектурно-исторических памятников.

Фактический материал и личный вклад автора.

Диссертация является продолжением научных исследований кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского Горного университета, связанных с преобразованием компонентов подземного пространства и обеспечением длительной устойчивости сооружений различного назначения, проведенных в период с 1992-2015 гг. Автором работы выполнен анализ фондовых и литературных источников, архивных данных и картографических материалов, посвященных истории освоения и использования территории города до начала его строительства (16-17 вв.), а также в процессе развития его инфраструктуры и функционирования (18-21 вв.). Автор принимал непосредственное участие в проведении полевых работ на территории храма Пресвятой Троицы, характеризующейся длительным периодом загрязнения, а также в выполнении лабораторных исследований состава, состояния и физико-механических свойств контаминированных дисперсных грунтов. Кроме того, был произведен исторический и инженерно-геологический анализ контаминации подземной среды в пределах стрелки Васильевского острова (здание Биржи), а также территории района «Пески» (левобережье р. Невы, вблизи Смольного собора). Вместе с тем, продолжены исследования, начатые в конце 20 века, по многофакторной оценке причин прогрессирующего

разрушения комплекса зданий Нового Эрмитажа с фотофиксацией трещин в несущих конструкциях. Выполнена инженерно-геологическая типизация подземного пространства города с учетом исторического аспекта его контаминации.

Основные методы исследований. Теоретические исследования процессов преобразования водонасыщенных песчано-глинистых грунтов различного генезиса под влиянием действующих контаминантов, совершенствование методических подходов проведения экспериментальных исследований для оценки микробной пораженности грунтов, изменения состояния и физико-механических свойств дисперсных отложений, расчетные методы оценки изменения несущей способности грунтов при их контаминации.

Научная новизна:

Анализ исторического аспекта хозяйственного использования различных районов мегаполиса для инженерно-геологической оценки преобразования компонентов ПП с целью последующего повышения безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения, а также реконструкции и реставрации архитектурно-исторических памятников.

Защищаемые положения:

1. Длительность и специфика промышленного и хозяйственного освоения территории определяют абиогенный и биогенный состав контаминантов, активность и направленность их влияния на основные компоненты подземного пространства.

2. Инженерно-геологическое обоснование реконструкции и реставрации зданий и сооружений в историческом центре города и обеспечение их длительной устойчивости должны базироваться на прогнозировании последствий постоянной контаминации подземной среды в ретроспективном плане и в период функционирования эксплуатируемых объектов.

3. Инженерно-геологическая типизация подземного пространства города должна учитывать исторический аспект его контаминации, определяющей основные негативные последствия преобразования состояния и свойств песчано-глинистых грунтов,

подземных вод и уровень опасности развития природно-техногенных процессов.

Практическая значимость:

Создание схематических карт интенсивности и длительности контаминации ПП с учетом природных и техногенных факторов для направленного прогнозирования уровня опасности строительства, эксплуатации зданий и сооружений, реконструкции и реставрации архитектурно-исторических памятников, а также учета этих факторов при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических исследований при проектировании новых сооружений, реконструкции и реставрации старинных зданий, в том числе архитектурно-исторических памятников.

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, базируется на анализе фондовых, литературных и картографических источников по истории освоения территории города, а также большого количества фактического материала, который был получен в ходе проведения экспериментальных исследований в полевых и лабораторных условиях. В диссертационной работе широко применялись экспериментальные микробиологические исследования по оценке физиологических групп, родового и видового состава микроорганизмов и их численности, которые позволили оценить их влияние на свойства песчано-глинистых грунтов в разрезе архитектурно-исторических памятников и развитие опасных природно-техногенных процессов в основании сооружений, включая различные типы коррозии старинных и современных конструкционных материалов.

Реализация результатов исследований. Результаты, полученные при подготовке диссертации, рекомендуются к применению при проектировании и строительстве сооружений различного назначения на территории Санкт-Петербурга. Полученные результаты работы и представленные комплекты синтетических схематических карт освоения подземного пространства города могут быть использованы на стадии проведения инженерно-геологических исследований для повышения безопасности его освоения и использования, а также устойчивости эксплуатируемых сооружений, в первую очередь, архитектурно-

исторических памятников. Результаты исследований предложены проектным организациям при обосновании длительной устойчивости архитектурно-исторических памятников в условиях постоянной контаминации песчано-глинистых грунтов и подземных вод в основании сооружений. К числу данных предприятий в г. Санкт-Петербурге могут быть отнесены: ООО «ПИ Геореконструкция», ОАО «Ленниипроект», «КГИОП», а также изыскательские организации.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 2015-2016 гг.), «Проблемы недропользования» («Горный университет», Санкт-Петербург, 2016 г.), «Современные концепции научных исследований» (Евразийский союз ученых, Москва, 2015 г.), «Innovations in Mineral Resource Value Chains - Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management» (TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany, 2016 г.), а также на заседаниях кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета (Санкт-Петербург, 2014-2017 гг.).

Публикации. Результаты диссертации отражены в 10 опубликованных работах, 3 из которых в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура работы. Текст диссертационной работы состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 250 страницах машинописного текста, и содержит 123 рисунка, 60 таблиц и список литературы из 197 наименований.

Автор выражает глубокую признательность за неоценимую помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертационной работы научному руководителю д.г.-м.н., проф. Р.Э. Дашко. Автор благодарит зав. кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии к.г.-м.н., доц. Д.Л. Устюгова, преподавателей и сотрудников кафедры за обсуждение материалов диссертации и критические замечания к работе; к.г.-м.н., асс. кафедры И.Ю. Ланге и асп. кафедры Л.М. Зайдуллину за помощь в проведении лабораторных исследований; д.б.н., проф., заведующего лабораторией микологии и альгологии СПбГУ Д.Ю. Власова за

помощь в выполнении микробиологических исследований и анализе их результатов для оценки активности деятельности микроорганизмов в подземной среде.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Длительность и специфика промышленного и хозяйственного освоения территории определяют абиогенный и биогенный состав контаминантов, активность и направленность их влияния на основные компоненты подземного пространства.

Санкт-Петербург принадлежит к мегаполисам России с трехсотлетней историей развития, хозяйственное и инженерное освоение территории которого началось задолго до его строительства.

В 12-16 вв. к зонам локального освоения относились сельскохозяйственные участки функционировавших деревень, расположенные вдоль берегов реки Невы. В 17 в. происходит постепенное расширение площадей освоения и, соответственно, контаминации ПП в связи с основанием шведского города Ниена (рисунок 1). В этот период своей освоенностью выделялись восточный и южный берега острова Койвисаари (о. Петроградский), восточная часть острова Хирвисаари (о. Васильевский), северо-восточная часть островов Усадисса (о. Адмиралтейский) и Первушкина (о-ва Казанский и Спасский).

В начале 18 в. загрязнение ПП приобретает региональный характер, что связано с основанием и ростом города (рисунок 2). Специфика контаминации ПП в 19-20 вв. обусловлена особенностями промышленного производства, отсутствием системы водоотведения, размещением многочисленных свалок хозяйственно-бытовых отходов, наличием засыпанных объектов гидрографической сети, а также влиянием действующих и ликвидированных кладбищ (рисунок 3, 4).

Анализ исторического аспекта развития территории в 12-20 вв. свидетельствует о высоком уровне загрязнения ПП города биогенными и абиогенными поллютантами, что, в свою очередь, является наиболее значимым фактором изменения физико-химических и биохимических условий подземной среды. Результаты опробования подземных вод в пределах островов исторического центра города по скважинам

режимной сети подтверждают существование преимущественно восстановительных условий в обводненной толще разреза (таблица 1). При этом, необходимо принимать во внимание высокий уровень заболоченности территории, формирующий природный фон подземной среды и ее обогащение органическими соединениями различного состава и генезиса.

С целью обоснования принятой концепции учета исторического аспекта контаминации приведен ключевой участок – район «Пески». Разрез территории «Пески» приурочен к аккумулятивному левому берегу р. Невы и характеризуется наличием мощной толщи песчаных грунтов различного генезиса, гранулометрического состава, физического состояния и водопроницаемости (рисунок 5). Суммарная мощность песчаной толщи достигает 22-25 метров. Начиная с глубины 2,6 м от поверхности, песчаные грунты полностью водонасыщены и образуют единый горизонт безнапорных грунтовых вод, мощность которого составляет около 22 м. История освоения рассматриваемой местности насчитывает несколько сотен лет, начиная с 14 века (таблица 2).

Несмотря на промывной режим, отмечается высокий уровень контаминации грунтовых вод, химический состав которых характеризуется наличием повышенной минерализации (1213,4-1678,1 мг/дм³) и легкоокисляемой органики (18,0-25,6 мгО₂/дм³), а также значительными концентрациями сульфатов (155,9-411,6 мг/дм³), присутствием сероводорода. При высокой жесткости вод (35-49°Ж), вызванной содержанием щелочноземельных элементов (Ca^{2+} и Mg^{2+}), вода имеет достаточно низкие значения *pH* за счет содержания органических кислот и сероводорода.

Убедительным примером негативного воздействия длительного периода контаминации подземной среды служит отсутствие твердения бетона и невозможность формирования ледогрунтового целика при создании ограждающей конструкции в районе «Пески», что привело к прорыву грунтовых вод в глубокий котлован. На данном участке также не была реализована гидроизоляция подвальных частей с помощью глинисто-цементного раствора.

Проведенные микробиологические исследования грунтовых вод на молекулярно-генетическом уровне показали большое разнообразие микроорганизмов (таблица 3).

Таблица 3 – Доминирующие виды бактерий, выявленные на территории района «Пески»

Тахоному (крупные филы)	Доля в пробе, (%)
Bacteria; Firmicutes; Clostridia; Natranaerobiales; Anaerobrancaceae	14,7
Bacteria; Proteobacteria; Alphaproteobacteria; Sphingomonadales; Sphingomonadaceae; Sphingomonas	9,5
Bacteria; Proteobacteria; Betaproteobacteria; Burkholderiales; Comamonadaceae	9,3
Bacteria; Proteobacteria; Betaproteobacteria; Burkholderiales; Comamonadaceae; Hydrogenophaga	28,2
Bacteria; Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Pseudomonadales; Pseudomonadaceae; Pseudomonas	7,1
Примечание: жирным шрифтом выделены преобладающие виды	

Косвенный метод определения микробной пораженности с применением биохимического метода Лоури свидетельствовал об аномально высоком уровне белка в воде, который превышал максимальные значения калибровочной кривой (250 мг/л).

2. Инженерно-геологическое обоснование реконструкции и реставрации зданий и сооружений в историческом центре города и обеспечение их длительной устойчивости должны базироваться на прогнозировании последствий постоянной контаминации подземной среды в ретроспективном плане и в период функционирования эксплуатируемых объектов.

Инженерно-геологический анализ негативного влияния длительной контаминации на устойчивость действующих сооружений выполнен на примере трех архитектурно-исторических памятников, два из которых принадлежат комплексу зданий Нового Эрмитажа: здание Биржи (Тома де Томон, 1805-1810 гг.), Новый Эрмитаж (Лео фон Кленце, 1842-1852 гг.), третий – храм Пресвятой Троицы (Г.И. Карпов, 1862-1868 гг.) является подворьем Иоанно-Богословского Черемнецкого монастыря.

В настоящее время указанные памятники находятся в

предаварийном состоянии, о чем свидетельствует наличие трещин различного направления и раскрытия в несущих конструкциях (рисунок 6).

Несмотря на одновременность их возведения, применялись однотипные фундаменты, которые состояли из распределительных конструкций: деревянные лежни со шпонками, плита известняка из путиловского камня, на которой были установлены ленточные фундаменты различной ширины под несущие стены. Материал ленточных фундаментов – бут известняка или кирпичная кладка на извести. Проведенные обследования показали разную степень сохранности несущих конструкций. Фундаменты Нового Эрмитажа и храма Пресвятой Троицы характеризовались интенсивным разрушением за счет растворения и частичного выщелачивания связующего кирпичной кладки – извести, а также распределяющей конструкции – путиловской плиты. Кроме того, при осмотре фундаментов храма были обнаружены обломки плиты известняка и остатки деревянных лежней. Для кирпичной кладки фундаментов Нового Эрмитажа выполнена типизация по степени ее сохранности (таблица 4). Состояние подземных несущих конструкций здания Биржи согласно исследованиям «ПИ Геореконструкция» оценено как работоспособное, однако прямых определений коррозии деревянных лежней и прочности известняков тела фундаментов не проводилось.

Комплекс рассматриваемых зданий приурочен к нижней Литориновой террасе, в разрезе основания которой прослеживаются озерно-морские отложения, перекрывающие озерно-ледниковые грунты, а в самой нижней части разреза бурением вскрыты моренные образования. Непосредственно несущим горизонтом для существующих фундаментов Нового Эрмитажа и храма Пресвятой Троицы служат озерно-морские отложения, а для здания Биржи – техногенные (возможно аллювиальные) пески. Здание Биржи находится в аккумулятивной зоне деятельности двух рек: Большая Нева и Малая Нева. Кроме того, большое значение при формировании свойств техногенных отложений имела инженерная подготовка территории во времена шведского правления, а также в 18-19 вв. в связи с оформлением восточной оконечности стрелки

Васильевского острова.

По данным картографических материалов территории рассматриваемых объектов характеризовались длительным периодом контаминации ПП, что отразилось на составе грунтовых вод, содержащих повышенное количество органических соединений: величина ХПК достигает $259 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, а БПК₅ – $35 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ (храм Пресвятой Троицы) (таблица 5, 6).

Таблица 5 – Характер и особенности освоения территории изучаемых архитектурно-исторических памятников

Этапы освоения	Характер и особенности освоения территории рассматриваемых архитектурно-исторических памятников:		
	Храм Пресвятой Троицы	Новый Эрмитаж	Здание Биржи
	Хозяйственно-бытовое загрязнение		
XV–XVI вв.	д. Йервис	д. Первушкино	д. Александровских и Олферьевских ловцов
XVII в.	Шведское кирпичное производство	Жилая застройка без системы водоотведения; хозяйственно-бытовые стоки конюшен, Шепелевского дворца и Мастерского двора	Шведские предприятия по переработке рыбы
XVIII в.	Хозяйственное использование Александроневской Лаврой		Лесопильное производство
XIX в.			С 1811 г. существование Новой Биржи (арх. Тома де Томон)
XIX–XXI вв.	Функционирование Киноевского кладбища	С 1852 г. функционирование музея (утечки из систем водоотведения)	С 1939 г. в здании располагается Центральный военноморской музей

Подземные воды кислые ($\text{pH}=4,0$) и имеют окислительно-восстановительный потенциал ниже -100 mV , что вызвано присутствием органических соединений, а также деятельностью анаэробных микроорганизмов. Судя по содержанию ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и их соотношению в грунтовых водах, наблюдается интенсивное растворение и выщелачивание карбонатов, а именно связующего кирпичной кладки и доломитизированной плиты, на которую поставлены ленточные фундаменты. Разрушению карбонатных соединений способствуют низкие значения pH , а также

наличие во всех пробах воды агрессивной углекислоты (см. таблица 6).

Проведение микробиологических исследований песчано-глинистых грунтов в основании рассматриваемых памятников позволило установить относительно высокую численность различных групп микроорганизмов (10^7 кл/1г) – железовосстанавливающих, сульфатредуцирующих, тионовых (10^2 - 10^5 кл/1г) бактерий и др., среди которых главенствующую роль занимают гетеротрофные формы микробиоты, в том числе генерирующие сероводород, который отчётливо фиксировался при опробовании скважин. Повсеместно в песчано-глинистых отложениях на каждом объекте исследования по всей глубине скважины отмечались образования гидротроилита ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Помимо бактериальных форм в грунтах основания было выявлено высокое содержание микромицетов, численность которых достигала 1200 КОЕ/1 г (здание Биржи) и 5200 КОЕ/1 г (храм Пресвятой Троицы). Деревянные лежни фундаментов Нового Эрмитажа поражены микромицетами. По результатам исследования было установлено 13 видов грибных культур, большинство из которых относились к активным деструкторам и обладали агрессивностью по отношению к строительным материалам – *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* и др. (рисунок 7).

Выполненные экспериментальные исследования состава, состояния и физико-механических свойств грунтов в разрезах основания архитектурно-исторических памятников позволили установить особенности деформационного поведения моренных отложений, которые рассматриваются как несущий горизонт при реконструкции здания Биржи и храма Пресвятой Троицы. Морены в восстановительных условиях имеют только молекулярный тип структурных связей, пластический характер деформирования и разрушения, низкие модули деформации при их испытаниях в условиях трехосного сжатия (таблица 7).

Расчеты несущей способности по Л.Прандтлю для квазипластичных грунтов показали, что в настоящее время для двух архитектурно-исторических памятников (здание Биржи, храм Пресвятой Троицы) действующее давление от сооружения превышает первое критическое. Следовательно, грунты основания работают в стадии пластических деформаций, что подтверждается

результатами геодезических наблюдений за скоростями деформаций (здание Биржи), а также наблюдениями за трещинообразованием в несущих конструкциях (храм Пресвятой Троицы).

Таблица 7 – Параметры физико-механических свойств различных геолого-генетических типов грунтов в разрезах основания архитектурно-исторических памятников

Параметры свойств грунтов	Здание Биржи			Храм Пресвятой Троицы		
	Генетический тип грунта:					
	mlIV	lgIII	gIII	mlIV	lgIII	gIII
Плотность ρ , г/см ³	1,58-1,75	1,93-2,01	2,17	1,49-1,90	1,78-1,89	2,14-2,18
Показатель консистенции I_L , д.ед. (безразмерная)	0,87-1,0	1,30-2,02	0,60	0,93-1,10	0,87-1,14	0,19-0,34
Влажность W , %	43,0-62,0	25,0-31,0	16,0	29,6-79,6	33,3-43,1	16,3-17,9
Удельное сцепление c , МПа	0,022-0,023	0,020-0,022	0,035	0,0162-0,0164	0,017-0,018	0,038-0,044
Угол внутреннего трения ϕ , °	<3	→0	<5	→0	→0	<3-5
Модуль общей деформации, МПа	-	-	-	1,2-1,4	2,0-3,0	3,5-4,2
Примечание: mlIV – озерно-морские грунты; lgIII – озерно-ледниковые образования Балтийского озера; gIII – ледниковые отложения						

Несмотря на общность и некоторое различие инженерно-геологических условий, которые определяются рядом природных и техногенных факторов, в том числе источников контаминации, отразившихся на состоянии компонентов подземной среды, необходим нетривиальный подход к реконструкции и реставрации исследуемых архитектурно-исторических памятников. В связи с этим для обеспечения их длительной устойчивости рассматривается два возможных варианта их восстановления.

Анализ инженерно-геологических условий и последствий контаминации показал, что устройство свайного фундамента не приведет к желаемому эффекту по нескольким причинам, которые суммированы в таблице 8. Для фундаментов Нового Эрмитажа был проведен опытно-промышленный эксперимент по твердению бетонов в условиях загрязнения грунтовых вод, который

подтвердил, что бетон сохранил пластичное состояние в процессе двухмесячного «твердения».

Необходимо предложить восстановление первоначального проекта фундаментов, но при использовании устойчивых материалов и проведении мероприятий, предупреждающих развитие биокоррозии в восстановительной среде.

3. Инженерно-геологическая типизация подземного пространства города должна учитывать исторический аспект его контаминации, определяющей основные негативные последствия преобразования состояния и свойств песчано-глинистых грунтов, подземных вод и уровень опасности развития природно-техногенных процессов.

Известно, что в реальной практике проектирования и строительства сооружений различного назначения оценка состояния подземного пространства осуществляется в период проведения инженерных изысканий при отсутствии картографических материалов, касающихся использования территории в историческом аспекте.

Научно-практической основой разработанной схематической типизации уровня интенсивности природно-техногенных воздействий на различные компоненты подземного пространства мегаполиса служит степень и длительность освоения территории, а также специфика ее хозяйственного использования.

В соответствии с этим, на синтетической схематической карте выделено три зоны по интенсивности и длительности контаминации ПП с учетом природных и техногенных факторов (рисунок 8). К первому выделенному типу (I) относятся территории, длительность освоения которых составляет свыше 500 лет. Второй тип участков (II) характеризуется меньшей длительностью освоения – 300–400 лет, а третий тип площадок (III) – минимальной: не более 200 лет.

Дальнейшее разделение выделенных зон на подзоны осуществлялось в зависимости от специфики контаминации рассматриваемой территории и размещения на ней того или иного источника загрязнения. Так, в пределах участков каждого типа по длительности освоения выделено 3 подтипа: Ia, IIa, IIIa – предельно высокая степень контаминации (более 5 источников контаминации); Ib, IIb, IIIb – высокая степень контаминации (2–5 источников контаминации); Iv, Iв, IIIв – средняя степень контаминации (1–2

источника контаминации). Ранжирование источников контаминации производилось по уровню их негативного воздействия на компоненты ПП согласно следующим пунктам:

1) природные факторы воздействия: а) наличие болот, в том числе и захороненных, а также грунтов, содержащих органические компоненты;

2) техногенные факторы: а) отсутствие либо несовершенство канализационной системы; б) старинные промышленные предприятия (кожевенное производство, предприятия пищевой и хозяйственной промышленности); в) захороненные и действующие свалки хозяйственно-бытовых отходов; г) загрязнение нефтепродуктами, д) направленность сельскохозяйственной деятельности; е) засыпанные водоемы и водотоки, ж) ликвидированные и действующие кладбища.

Таким образом, зоны I типа относятся к территории с неблагоприятными условиями строительства в связи с высокой степенью контаминации и длительностью освоения. При этом, особое внимание необходимо обратить на формирование коррозионных процессов, которые развиваются в анаэробных условиях при высоком содержании органических соединений природного и техногенного генезиса.

Инженерно-геологические условия зоны II типа следует считать более благоприятными при строительстве сооружений различного назначения. Однако на данных участках нельзя гарантировать безопасное функционирование и длительную устойчивость зданий в условиях снижения несущей способности относительно прочных и плотных грунтов за счет высокой степени контаминации подземной среды, что отражается также на трансформации песчано-глинистых отложений, грунтовых вод и развитии широкого спектра различных видов коррозии.

Выделенные на территории города участки III типа (при отсутствии болотных отложений, хозяйственно-бытовых свалок) могут быть отнесены к относительно благоприятным для строительства сооружений по условиям контаминации подземной среды.

Выполненная типизация территории Санкт-Петербурга с использованием исторического аспекта контаминации способствует повышению достоверности прогнозирования развития природно-техногенных процессов, безопасности строительства и эксплуатации

сооружений различного назначения, а также позволяет вести анализ взаимодействия сооружений с многокомпонентной подземной средой с учетом особенностей физико-химических и биохимических условий, не принимаемых во внимание в практике проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных научно-практических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. Анализ и оценка контаминации компонентов подземного пространства города проведены с учетом особенностей историко-инженерного развития территории современного Санкт-Петербурга, которая была освоена еще в 12 веке. На состояние компонентов подземного пространства города, кроме загрязнения, оказывает влияние присутствие в разрезе болотных отложений как одного из источников природной органики и микробиоты. Основное значение в ряду активных загрязнителей подземного пространства на протяжении всей жизни города играют утечки из старых систем водоотведения, что определяет загрязнение грунтовых вод и песчано-глинистых отложений микробиотой, органическими и неорганическими компонентами.

2. При химическом и биохимическом окислении органической компоненты канализационных стоков, многочисленных свалок, нефтепродуктов, кладбищ наблюдается изменение физико-химических условий в толще грунтов, в первую очередь, снижение окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Результаты многолетних опробований грунтовых вод по режимной сети города показывают варьирование величины Eh в грунтовых водах в зависимости от близости источников загрязнения органическими веществами, наличия застойного гидродинамического режима, и в целом, отражают анаэробные, реже переходные к анаэробным условиям.

3. Рассмотрено влияние абиотической и биотической компоненты в подземном пространстве на изменение состояния и свойств песчаных отложений под воздействием природных и техногенных источников контаминации. Экспериментально исследованы закономерности снижения плотности, водопроницаемости и прочности песков различного гранулометрического состава в зависимости от количества хорошо разложившегося торфа: заметные изменения указанных параметров фиксируются в песках при 0,5-1% торфа и выше. Органическая

составляющая биотического генезиса оказывает резко выраженное негативное воздействие на фильтрационную способность и механические свойства водонасыщенных песков, вплоть до их перехода в состояние плывунов при содержании микробного белка более 50 мкг/г.

4. Проанализирована специфика преобразования моренных отложений в разрезе подземного пространства Санкт-Петербурга. Установлено, что морены в пределах загрязненных и/или заболоченных территорий в анаэробных условиях характеризуются отсутствием цементационных связей и пластическим характером деформирования, часто при сохранении полутвердой и твердой консистенции, что доказывается результатами лабораторных исследований морен в условиях трехосного сжатия и их поведением в качестве несущего горизонта для свайных фундаментов, либо как вмещающей среды для подземных сооружений.

5. Проанализировано современное состояние архитектурно-исторических памятников: здание Биржи, Новый Эрмитаж, храм Пресвятой Троицы, принимая во внимание не только инженерно-геологические и гидрогеологические условия, но и исторический аспект загрязнения подземной среды. Особое внимание уделено роли грунтовых вод как компоненту подземного пространства, отражающему влияние различных источников контаминации и формирующему степень агрессивности вод по отношению к конструкционным материалам. Отмечено, что наличие слабых водонасыщенных грунтов, высокий уровень микробной пораженности, восстановительные условия в подземной среде за счет длительной контаминации рассматриваются как причины прогрессирующего разрушения подземных конструкций – фундаментов, а длительные и неравномерные осадки Биржи, Нового Эрмитажа и храма Пресвятой Троицы приводят к развитию трещин в несущих конструкциях.

6. Проанализированы два варианта реконструкции фундаментов для обеспечения длительной устойчивости здания Биржи и храма Пресвятой Троицы с учетом особенностей контаминации, влияющей на преобразование грунтов, химический состав подземных вод. Таким образом, обеспечение длительной устойчивости архитектурно-исторических памятников должно базироваться на прогнозировании последствий постоянной контаминации подземной среды в ретроспективном плане и в

период функционирования эксплуатируемых объектов.

7. По результатам исследований для территории Санкт-Петербурга построена схематическая карта с фиксацией линейных и площадных ликвидированных объектов гидрографической сети в период с 18-21 вв., а также отмечены участки погребенных болотных массивов, что позволяет оценить на стадии проведения изысканий специфику инженерно-геологических условий с учетом исторического аспекта развития городской инфраструктуры, а также освоения рассматриваемой территории в допетровскую эпоху.

8. Инженерно-геологическая типизация подземного пространства города проведена с учетом исторического аспекта его контаминации, что способствует повышению степени достоверности инженерно-геологической информации, а именно: прогнозирования развития природно-техногенных процессов, состояния и свойств грунтов, формирования состава подземных вод, безопасности строительства и длительной эксплуатационной надежности сооружений различного назначения с учетом устойчивости строительных материалов в подземной среде при выявленной коррозионной способности водонасыщенных песчано-глинистых грунтов в условиях их вековой контаминации.

По теме диссертации опубликовано 10 работ, из них:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Дашко, Р.Э. Многофакторная оценка причин прогрессирующего разрушения комплекса зданий Нового Эрмитажа / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Промышленное и гражданское строительство, №11. – Москва, 2015. – С. 8-14.

2. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование реконструкции и реставрации Храма Пресвятой Троицы в г. Санкт-Петербурге / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Инженерная геология, №4. – Москва, 2016. – С. 30-36.

3. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологические и экологические аспекты преобразования моренных грунтов в подземной среде Санкт-Петербурга для оценки их несущей способности / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Международный научно-исследовательский журнал, №12 (54). – Екатеринбург, 2016. – С. 56-61.

В прочих изданиях:

4. Дашко, Р.Э. Исторический аспект исследований подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга) /

Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Материалы VI Всероссийской (заочной) Научной конференции «Молодежь в современном мире: гражданский, творческий и инновационный потенциал». – Старый Оскол, 2014. – С. 232-238.

5. Дашко, Р.Э. К вопросу об историческом аспекте контаминации и геоэкологической оценке подземного пространства (на примере Санкт-Петербурга) / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // 15 межвузовская молодежная научная конференция «Школа экологической геологии и рационального недропользования». – СПб, 2015. – С. 158-160.

6. Дашко, Р.Э. Исторический аспект геоэкологических исследований при решении инженерно-геологических проблем освоения и использования подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга) / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Современные концепции научных исследований, №6 (15). – Москва, 2015. – С. 131-136.

7. Дашко, Р.Э. О необходимости изучения микробиологической компоненты в подземном пространстве мегаполисов для решения инженерно-геологических проблем (на примере Санкт-Петербурга) / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Научный альманах, №9 (11). – Тамбов, 2015. – С. 1100-1103.

8. Dashko R.E. Multifactor assessment of the causes progressive destruction of the new Hermitage buildings / R.E. Dashko, **V.A. Gorskaya** // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg, 2016. V. 1. – PP. 124-128.

9. Дашко, Р.Э. Экологический фактор при анализе устойчивости Храма Пресвятой Троицы (тезисы) / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Материалы XVI межвузовской молодежной научной конференции: «Школа экологической геологии и рационального недропользования». – СПб, 2016. – С. 217-218.

10. Дашко, Р.Э. Основные инженерно-геологические и геоэкологические аспекты причин деформации комплекса зданий Нового Эрмитажа (тезисы) / Р.Э. Дашко, **В.А. Горская** // Инженерные изыскания. – Москва, 2014. – С. 19-20.

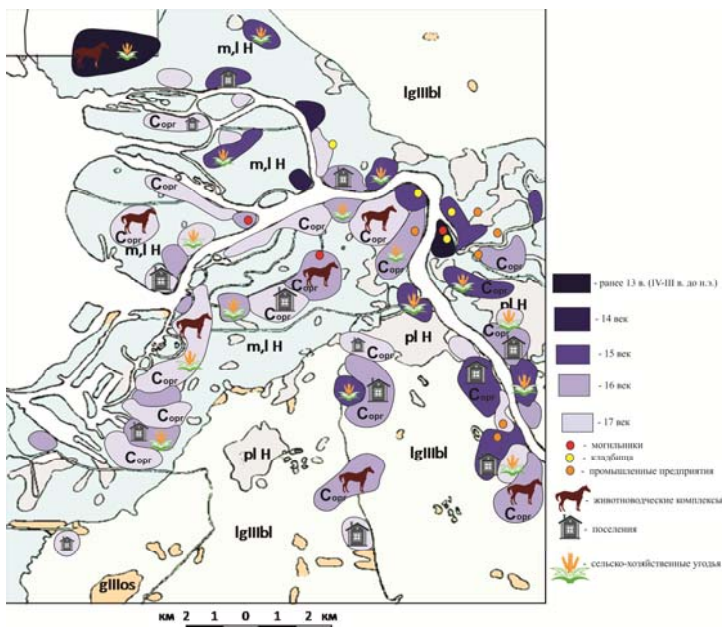


Рисунок 1 – Схематическая карта использования территории дельтовой части Невы до создания Санкт-Петербурга

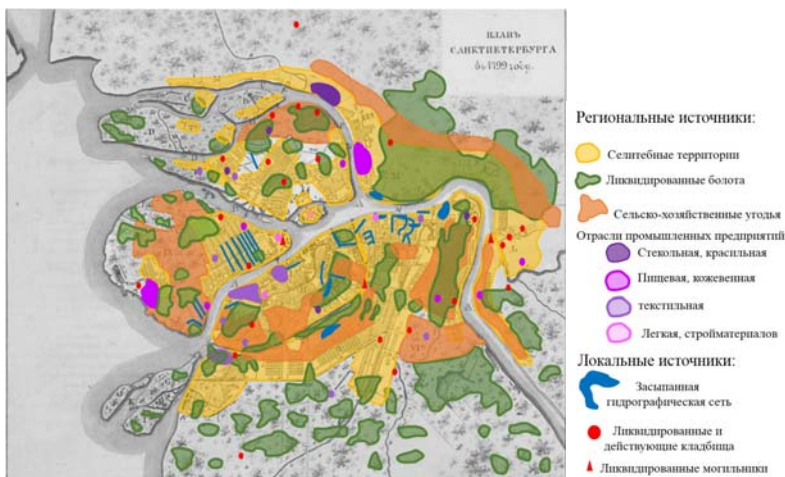


Рисунок 2 – Схематическая карта специфики контаминации территории Санкт-Петербурга в 18 веке
Масштаб – 1:150000

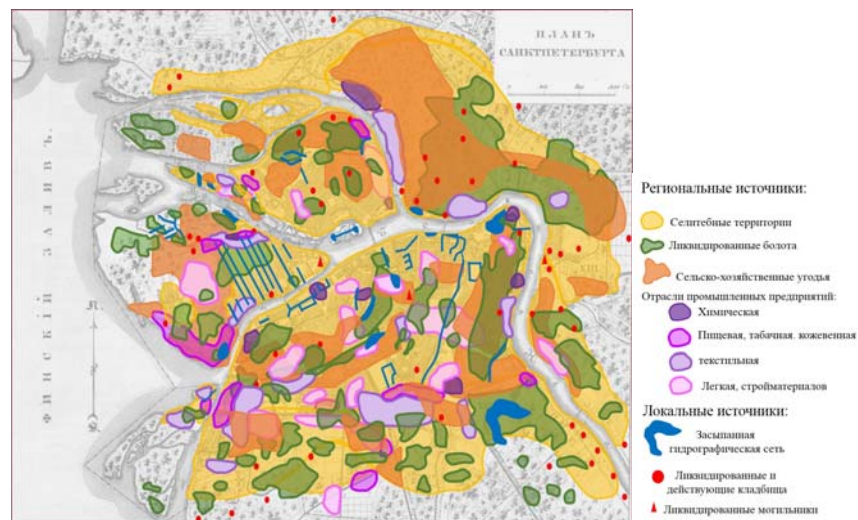


Рисунок 3 – Схематическая карта специфики контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга в 19 веке
Масштаб – 1:150000

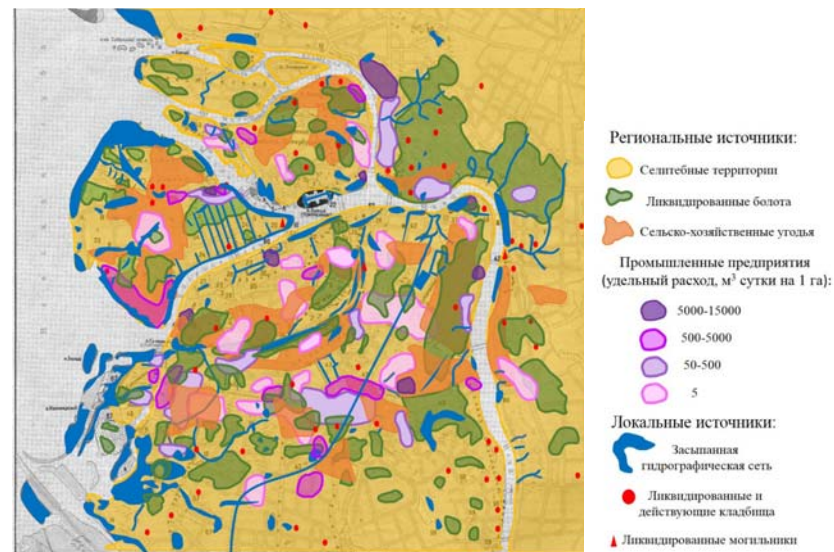


Рисунок 4 – Схематическая карта специфики контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга в 20 веке
Масштаб – 1:100000

Таблица 1 – Окислительно-восстановительные условия в разрезе подземного пространства исторического центра Санкт-Петербурга

Элементы	I	II	III	IV	V	VI
pH*	6,85-7,23	7,21-7,38	6,84-7,29	6,88-7,47	7,21-7,68	6,85-7,69
pH**	3,85-4,23	4,21-4,38	3,84-4,29	3,88-4,47	4,21-4,68	3,85-4,69
Eh, мВ**	(+68)-(-55)	(-61)-(-93)	(+63)-(-105)	(-68)-(-107)	(+85)-(+17)	(-61)-(-127)
rH ₂ *	14,5	11,9	12,5	11,4	16,6	11,7
rH ₂ **	8,5	5,9	6,52	5,4	10,7	5,6

Примечание: * - значения pH и rH₂ по результатам лабораторных определений,

** - значения pH, Eh и rH₂ - по результатам измерений в полевых условиях.

rH₂ – величина, определяющая кислородно-водородное равновесие.

Острова: I – Адмиралтейский, II - Коломенский; III - Васильевский, IV - Заячий, V - Петроградский, VI – Безымянный.

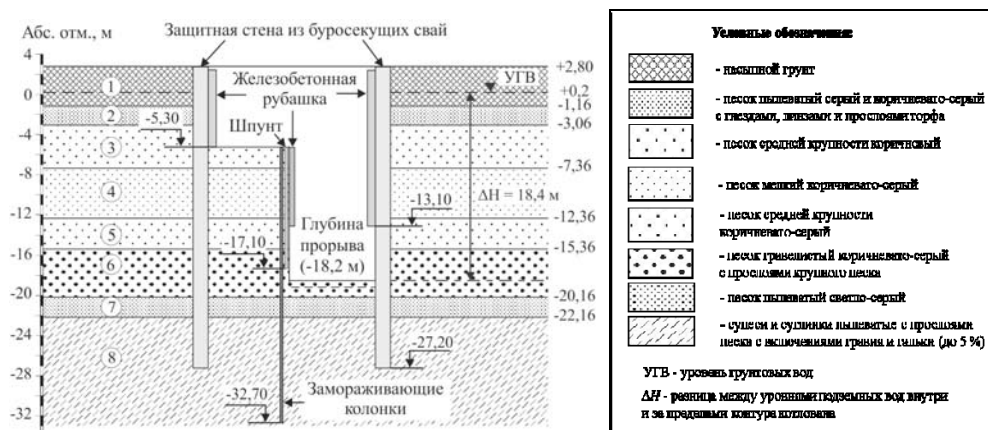


Рисунок 5 – Геолого-литологический разрез территории района «Пески» и расположение системы защитных конструкций при проходке глубокого котлована насосной станции в разрезе четвертичных отложений

Таблица 2 – Характер и особенности освоения территории района «Пески»

Этапы освоения	Характер и особенности освоения	Негативные последствия контаминации подземной среды
до XIV в.	Наличие болот и заторфованных грунтов	Повышение содержания природных органических веществ, присутствие анаэробных (сульфатредуцирующие, аммонифицирующие, метанобразующие бактерии, микромицеты и др.) и факультативных форм микроорганизмов численностью до 10 ⁵ -10 ⁶ клеток на грамм
XIV–XVI вв.	Хозяйственно-бытовое загрязнение, село Спаское с кладбищем и другие поселения	Повышение содержания органических веществ, соединений азота, серы, микробиотической составляющей в подземных водах и грунтах
первая половина XVIII в.	Территория «Пески» отведена под строительство казарм и конюшни Конной гвардии	Контаминация подземной среды различными формами микроорганизмов – целлюлозоразлагающими бактериями и микромицетами
XIX в.	Строительство лесопильного завода и крупного хранилища бревен и теса	Загрязнение подземных вод и грунтов различными нефтепродуктами на значительную глубину и длительности их присутствия в водоносных горизонтах. Нефтепродукты привносятся в подземную среду анаэробные микроорганизмы
XX в.	Размещение хранилища горюче-смазочных материалов	Прогрессирующее загрязнение подземной среды утечками из систем водоотведения, повышение содержания органических и неорганических соединений, привнос микробиоты, формирование анаэробной обстановки в подземном пространстве
XVIII-XXI вв.	Формирование жилой застройки при отсутствии системы водоотведения или ее несовершенного устройства, что сопровождалось постоянными канализационными утечками	Прогрессирующее загрязнение подземной среды утечками из систем водоотведения, повышение содержания органических и неорганических соединений, привнос микробиоты, формирование анаэробной обстановки в подземном пространстве



Рисунок 6 – Развитие трещин в несущих конструкциях рассматриваемых архитектурно-исторических памятников

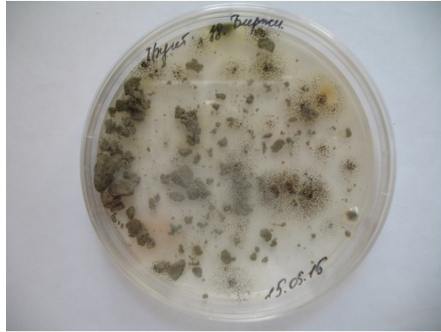
Таблица 4 - Таксоны по характеру разрушения материала кладки фундаментов здания Нового Эрмитажа

Таксон по характеру разрушения	подтип	Признаки сохранности материала кладки в процессе бурения
I	-	Сохраняется полная толщина кирпича ($h = 6$ см) и частично вяжущего раствора кладки
II	II ^a	$h_a \geq \frac{1}{2} h_k$
	II ^b	$\frac{1}{4} h_k \leq h_a < \frac{1}{2} h_k$
	II ^a	$h_a < \frac{1}{4} h_k$
III	III ^a	Крупные (щебень и крупная дресва)
	III ^b	Мелкая (дресва)
IV	-	Полное разрушение материала кладки до тонкодисперсного состояния

Таблица 6 – Химический состав подземных вод в основании архитектурно-исторических памятников

Определяемые показатели	Ед. изм.	Численные показатели воды, отобранной из скважин		
		Храм Пресвятой Троицы	Здание Нового Эрмитажа	Здание Биржи
Натрий	мг/дм ³	148,1-267,0	50,6-108,1	48,0-506,0
Калий	мг/дм ³	9,7		
Кальций	мг/дм ³	123,2-105,0	20,0 – 26,0	55,0-200,0
Магний	мг/дм ³	188,1-149,0	4,8-12,0	40,0-158,0
Аммоний-ион	мг/дм ³	6,0-2,8	25,2-84,6	2,0
Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	1540,7-1520,0	341,6-366,0	290,0-1049,0
Нитрат-ион	мг/дм ³	<0,1-1,5	0,00	-
Нитрит-ион	мг/дм ³	0,024	0,05-0,10	-
Сульфат-ион	мг/дм ³	24,0-56,8	28,7-83,0	34,0-413,0
Хлорид-ион	мг/дм ³	68,8-142,0	35,5-63,8	98,0-686,0
Кремневая кислота по (Si)	мг/дм ³	9,2	-	-
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	46,8-48,0	30,0-97,6	26,0-38,0
ХПК	мгО ₂ /дм ³	259,0	68,0-130,0	-
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	35,0	1,15-9,57	-
Агрессивная углекислота	мг/дм ³	41,2	4,4-30,8	16,5-25,0
Жесткость общая	°Ж	17,5-21,62	-	6,04-22,97
Сухой остаток	мг/дм ³	1225,0-1492,0	450,0-500,0	-
рН*	-	4,0-7,5	6,85-8,90	6,7-8,0
Фосфат-ион	мг/дм ³	0,34	-	-
Мутность	мг/дм ³	>100	-	-
Цветность	градус	53	-	-
Запах	балл	5, железо	-	-

Примечание: рН* - определен в лабораторных условиях. Значения рН, полученные в полевых условиях, составили 3-4 ед.



Здание Биржи

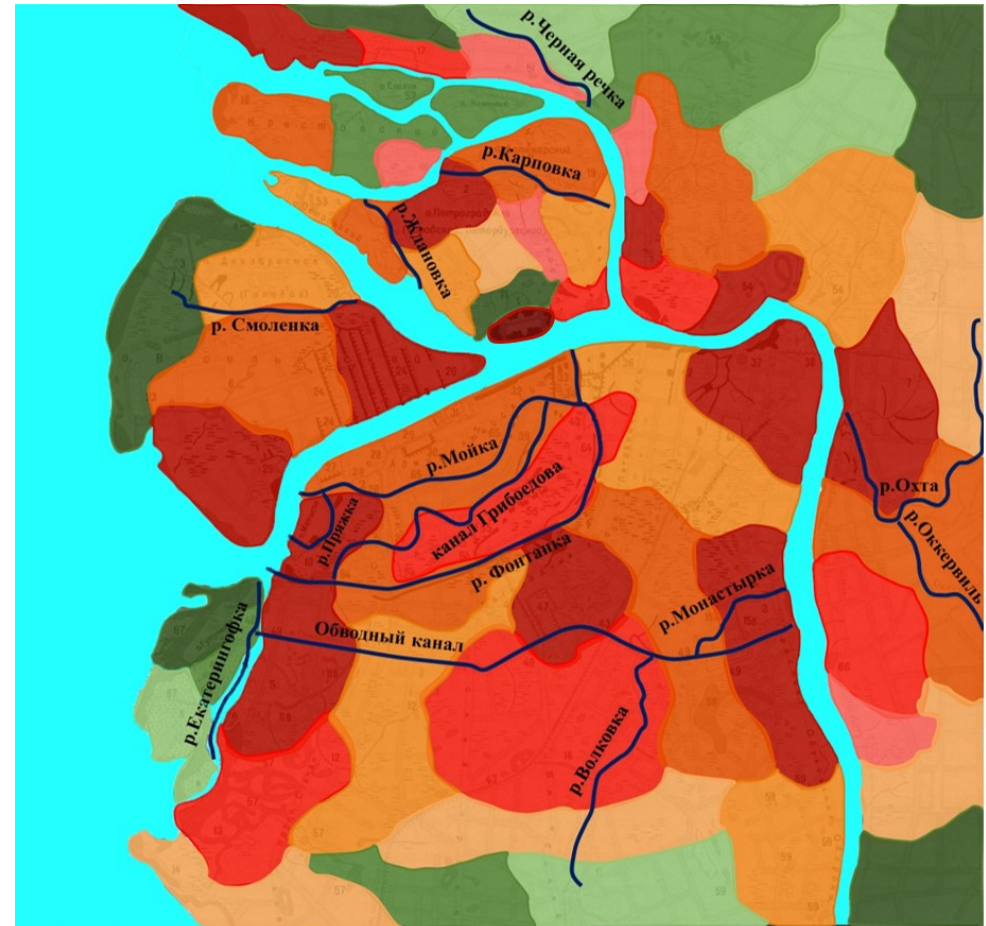


Храм Пресвятой Троицы

Рисунок 7 – Развитие колоний микромицетов в разрезах основания архитектурно-исторических памятников

Таблица 8 – Критерии невозможности применения свайных фундаментов на представленных архитектурно-исторических памятниках

Критерии	Последствия	
Наличие напорного водоносного горизонта	Взвешивающий эффект за счет восходящего перетекания подземных вод, снимающих трение по боковой поверхности свай	
Деятельность микробиоты за счет существовавших природно-техногенных источников контаминации	Высокая коррозионная способность подземной среды по отношению к бетонам, металлам, карбонатным породам, извести	
Активная деятельность сульфатредуцирующих бактерий	Образование H ₂ S и подкисление грунтовых вод	
Квазипластичное состояние морены	Длительная и незатухающая осадка сооружений во времени, которая характеризуется неравномерностью развития	
Твердение бетонов согласно ГОСТ 23732-2011:		
1. Перманганатная окисляемость не >15 мгО ₂ /дм ³ 2. Интенсивность запаха 3. Кислотно-щелочные условия: 12,5>pH>4	>25 мгО ₂ /дм ³ запах сероводорода	Отсутствие твердения бетонов
	pH=4	



Зоны интенсивности и длительности контаминации подземного пространства с учетом природных и техногенных факторов:

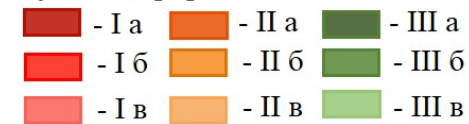


Рисунок 8 – Схематическая типизация подземного пространства города на основе специфики его хозяйственного освоения и использования во времени
Масштаб – 1:100000