

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский Горный университет»

На правах рукописи

Горская Валентина Алексеевна

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

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических
наук, профессор
Дашко Регина Эдуардовна

Санкт-Петербург – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЕЛЬТОВОЙ ЧАСТИ НЕВЫ И ЕЕ БАССЕЙНА В 16- 21 ВЕКАХ	10
1.1 Некоторые сведения об этапах развития цивилизации на рассматриваемой территории	10
1.2 Краткая история и хозяйственное использование территории дельтовой части Невы и ее бассейна в XII-XVI веках	15
1.3 Особенности освоения земель и инженерная хозяйственная деятельность Восточной Ингерманландии	26
1.4 Общие положения контаминации подземной среды в период функционирования и развития мегаполиса Санкт-Петербурга- Петрограда-Ленинграда-Санкт-Петербурга	40
1.5 Выводы по главе 1	69
ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА	71
2.1 Преобразование химического состава, окислительно- восстановительных и кислотно-щелочных условий подземных вод на территории островной и материковой части города	71
2.2 Результаты экспериментального изучения изменения состояния и сопротивления сдвигу некоторых генетических типов слабых песчано-глинистых грунтов	81
2.3 Воздействие контаминации подземной среды на изменение состояния и физико-механических свойств прочных глинистых грунтов (на примере морены и нижнекембрийской синей глины)	99
2.4 Выводы по главе 2	115

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОЙ КОНТАМИНАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЫ	117
3.1 Инженерно-геологическая и гидрогеологическая оценка условий размещения здания Биржи с учетом формирования территории стрелки Васильевского острова в историческом плане для составления проекта его реконструкции	117
3.2 Основные инженерно-геологические и гидрогеологические аспекты причин деформации комплекса зданий Нового Эрмитажа в условиях длительной контаминации подземного пространства	140
3.3 Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование реконструкции и реставрации храма Пресвятой Троицы с учетом истории контаминации подземной среды в 16-19 веках	154
3.4 Выводы по главе 3	178
ГЛАВА 4 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА НА ОСНОВЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО КОНТАМИНАЦИИ В ИСТОРИЧЕСКОМ ПЛАНЕ	182
4.1 Инженерно-геологическая интерпретация зон засыпанных водотоков и водоемов на территории исторического центра города ...	182
4.2 Формирование инженерно-геологических условий в прибрежной зоне рек и каналов города	203
4.3 Разработка схематической типизации подземного пространства города на основе специфики его хозяйственного освоения и использования во времени	221
4.4 Выводы по главе 4	227
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	229
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	234

ВВЕДЕНИЕ

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 кислотнo-щелочной обстановок, деятельности природной и привнесенной микробиоты, развитию 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.

ГЛАВА 1 ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЕЛЬТОВОЙ ЧАСТИ НЕВЫ И ЕЕ БАССЕЙНА В 16-21 ВЕКАХ

1.1 Некоторые сведения об этапах развития цивилизации на рассматриваемой территории

На современном этапе освоения и использования подземного пространства городов при строительстве сооружений различного назначения оценка экологического состояния территории и подземной среды производится в соответствии с СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства», который имеет ряд существенных недостатков. Одним из них является проведение анализа развития и освоения изучаемой территории с ретроспективой 40-50 лет (п. 6.12) [173]. Вместе с тем, следует принимать во внимание исторический аспект особенностей использования и способов инженерной подготовки территории на протяжении всего периода функционирования города, а также в предшествующую эпоху, что особенно принципиально для старинных городов. К таким крупнейшим мегаполисам с многовековой историей развития принадлежит и Санкт-Петербург. Несмотря на то, что в общественном сознании возраст города связан только с трехвековой биографией и исчисляется 314 годами, вся его градостроительная предыстория и хозяйственное использование территории будущей столицы дореволюционной России началось многими столетиями раньше, по типу других городов мира – Парижа, Лондона, Рима, Москвы, Новгорода, Киева и др [2, 99, 157].

В связи с этим, в истории развития территории Санкт-Петербурга можно обозначить несколько этапов освоения и контаминации подземного пространства (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Этапы освоения территории Санкт-Петербурга

Исторический аспект использования территории неразрывно связан с археологическими исследованиями. В настоящее время в области наук о Земле формируется совершенно новое научное направление, которое позволяет решать задачи инженерной геологии с помощью анализа археологических находок. Необходимо отметить, что при археологических исследованиях применяется широкий спектр различных естественнонаучных методов, которые дают дополнительную информацию об условиях обитания, локализации различных функциональных зон, времени существования человека, и в дальнейшем позволяют реконструировать особенности жизни и хозяйственной деятельности древнего населения [36].

Развитие ранней цивилизации на территории будущего Санкт-Петербурга было зафиксировано в V-начале IV тыс. до н.э., что сопровождалось возникновением первобытных поселений на побережье мелководного залива в период отступления моря [164].

Следует выделить два района, освоенных в эпоху неолита и раннего металла. Первый из них включал побережье Финского залива с концентрацией

стоянок вблизи Лахтинского разлива, второй — центральную часть Охтинского мыса [115].

Об активном использовании территории и инженерно-хозяйственной деятельности свидетельствуют остатки материальной культуры, относящиеся к эпохе неолита, которые были обнаружены в процессе раскопок на памятнике Охта-1 Санкт-Петербургской археологической экспедицией НП «СЗНИИ Наследия» под руководством П. Е. Сорокина. Следы длительного пребывания людей в устье реки Охта отмечены по найденным артефактам хозяйственно-промысловых комплексов первобытной эпохи, к которым принадлежат остатки жилых зон, каменные выкладки, очажные ямы, сооружения и погребения, предметы глиняной посуды, разнообразный каменный инвентарь, изделия из коры (рисунок 1.2) [166].



Рисунок 1.2 – Находки эпохи неолита и раннего металла: каменные орудия, керамика, янтарные украшения (Охта – 1, 20 век)

Благодаря тому, что раскопки проводились на значительных площадях (общая площадь около 30 000 м²), удалось проследить микрорельеф на территории памятника, особенности которого позволяют выделить более раннюю прибрежную промысловую зону, расположенную на берегу моря и вторую, промысловую и жилую зону, связанную с речными протоками. О продолжительном существовании раннего поселения позволяет судить большая серия радиоуглеродных дат, полученных по разным типам органических материалов (таблица 1.1) [167].

Таблица 1.1 – Радиоуглеродный возраст органических образцов с поселения Охта-1, полученных в лаборатории геохимии окружающей среды РГПУ им. А.И. Герцена [53]

Радиоуглеродный возраст (лет назад)	Калибровочный возраст лет до н.э.	Материал
7288+-85	6274-6007	Растительная органика
5050+-60	3964-3708	Древесина
5030+-100	3995-3640	Нагар
4060+-130	2908-2275	Уголь

Хозяйственная деятельность человека до нашей эры подтверждается остатками многочисленных промысловых конструкций для ловли рыбы, которые представляют собой заграждения и западины различной длины, расположенные вдоль побережья древнего залива (параллельно современному берегу р. Невы) (рисунок 1.3) [10].



а



б

Рисунок 1.3. – Фрагменты промысловых конструкций на археологическом памятнике Охта:

- а - рыболовное заграждение в заполненных плавником промоинах;
- б - западина с остатками деревянных конструкций и вбитыми кольями

По данным естественнонаучных исследований, около 3500 лет до н.э. началось ухудшение климатических условий, сопровождавшееся обмелением водоемов побережья и формированием системы мелководных речных проток. Радиоуглеродные даты указывают на некоторый перерыв в обитании людей на рассматриваемой территории (см. таблица 1.1). Изменение ландшафтно-климатических условий около 3200–3000 лет до н.э. снова делает эту территорию возможной для проживания. Формируются прибрежные условия мелководного, периодически заболачивающегося бассейна. Климатические условия остаются

достаточно теплыми и влажными. Новый пик активной деятельности человека в рассматриваемом регионе приходится на период 2800–2100 лет до н.э., что подтверждается материалами геохимического анализа, по результатам которого в районе Охтинского мыса были выявлены комплексы, связанные с определенными функциональными зонами. Так, зона погребения зафиксирована по аномальным значениям биоиндикаторов $P_{2O_{5antr}}$, CaO_{antr} , определенных по остаткам костной ткани, а также $Va_{antr}-Fe$, которые могли накапливаться при разложении мягких тканей и ритуальных действиях (рисунок 1.4, 1.5). Геохимический комплекс, включающий индикаторные соотношения K_2O_{antr} , Rb_{antr} , CaO_{antr} , Sr_{antr} , может характеризовать расположение очажных зон (K_2O_{antr} , Rb_{antr} — элементы, связанные с золой) и зон разделки туш животных (CaO_{antr} , Sr_{antr} — элементы, связанные с костными тканями). Участок углубления в русле протоки, в которую попадала большая часть отходов с береговой части, отмечается с помощью K_2O_{antr} , Rb_{antr} (элементы золы), $P_{2O_{5antr}}$, CaO_{antr} , Sr_{antr} (элементы костной ткани), Mn_{antr} , Va_{antr} , Fe (элементы разложения органики) [102, 103].

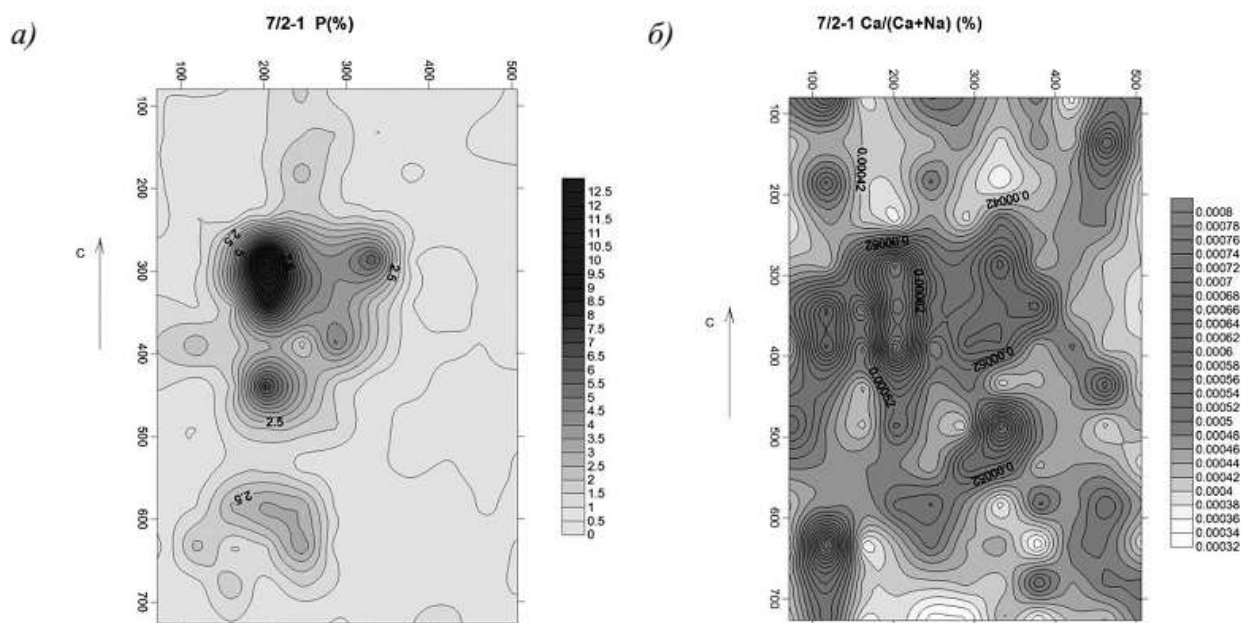


Рисунок 1.4 – Распределение содержания химических элементов в отложениях:
а – фосфора (%); б – антропогенного кальция (%)

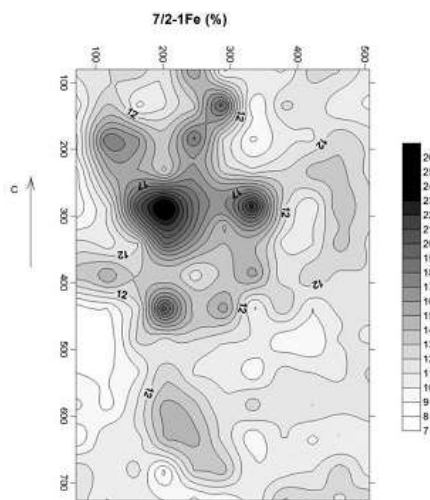


Рисунок 1.5. – Распределение содержания железа Fe (%) в отложениях

Данные обнаруженных археологических находок подтверждают существование длительных локальных поселений с зонами жилой, хозяйственной и промысловой деятельности населения до нашей эры.

1.2 Краткая история и хозяйственное использование территории дельтовой части Невы и ее бассейна в XII-XVI веках

Комплексное изучение многочисленных источников: древнеславянских летописей, скандинавских саг, данных археологических исследований и текстовых архивных материалов (писцовых, обыскных, платежных, дозорных, оброчных переписей новгородского и московского периодов развития Приневья) позволило установить динамику и особенности хозяйственного освоения изучаемой территории в период с XII - XV вв. с локализацией отдельных, наиболее крупных поселений.

Общим вопросам исторической географии Древней Руси посвящены труды И. Ахматова, Д.И. Багалея, М.К. Любавского, Н. Павлицева, М.П. Погодина, Б.А. Рыбакова, С.М. Середонина и др. История изучения градостроительных процессов Древней Руси насчитывает уже более ста лет, отдельного внимания заслуживают работы коллектива авторов под руководством Н.Ф. Гуляницкого, а также работы А.В. Кузы, В.А. Лаврова, В.П. Нерознак, Б.А. Рыбакова, Л.М. Тверского, М.Н. Тихомирова, В.А. Шкварикова и др.

Известно, что с XIII века (1228 год) территория будущего Санкт-Петербурга (Ижорская земля) входила в состав Новгородской республики и являлась важным стратегическим районом (рисунок 1.6) [13, 75].

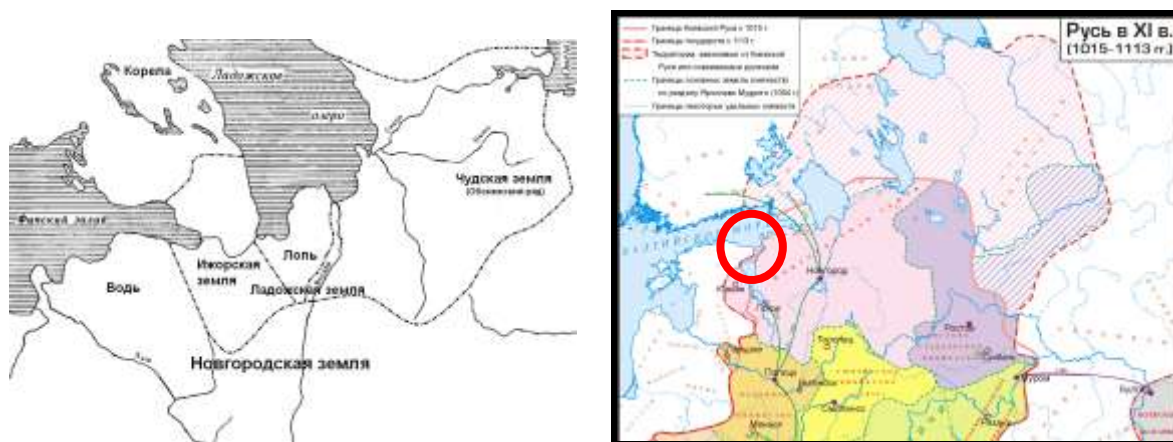


Рисунок 1.6 – Ижорская земля в начале XI-XIII века

Природно-климатические условия и географическое положение вблизи крупных водных объектов определили основной вид хозяйственной деятельности населения в период XII-XIII вв. – промысловое рыболовство и ремесленничество. Развитие сельского хозяйства - земледелия и огородничества происходило крайне медленно, чему способствовали внешние факторы: низкая урожайность, эпидемии, гибель скота, набеги грабителей. Постоянные военные действия со шведами, датчанами, а также с Тевтонским орденом препятствовали непрерывному освоению этих земель [5, 34].

В 1300 г. шведские войска в количестве 1100 человек, в составе которых были мастера из Рима под руководством королевского наместника Тергильса Кнутсона, высадились в устье р. Охты и основали крепость - Ландскрону (Венец земли). В результате археологических исследований, проведенных в 2006–2009 гг. в районе локализации крепости Ландскрона, обнаружены остатки ее фортификационных сооружений, по материалам которых было установлено, что крепость представляла собой регулярное деревянное укрепление прямоугольной формы с двумя линиями рвов шириной 11 и 15 м. Протяженность оборонительных линий, имеющих в разрезе трапециевидную форму и плоское дно, составляла около 150 м с восточной стороны и 140 м – с южной. Следует

отметить, что конструктивные особенности ее рвов не имеют аналогов в средневековой фортификации Восточной Европы [165, 170].

Вскоре после падения Ландскроны территорию в устье реки Охты начало осваивать местное население, а четверть века спустя в 1323 г. у истоков Невы была сооружена крепость Орешек. Вероятно, именно это событие и последовавшее за ним в 1324 г. заключение Ореховецкого мира, разграничившего владения Руси и Швеции в регионе, положили начало массовому заселению берегов Невы русским населением.

Согласно Писцовой книге Водской пятины 1500 г., во времена Великого Новгорода и Великого Московского княжества (XV–XVI вв.) территория современного Санкт-Петербурга входила в состав Ореховецкого (Ореховского) уезда Водской пятины (рисунок 1.7) [7].



Рисунок 1.7 – Карта Водской пятины, конец XV века

В соответствии с административным делением Ореховецкого уезда большая часть территории будущего города находилась в пределах 2 погостов (центральные селения с погостными церквями) - Спасского Городенского, Воздвиженского Корбосельского, которые включали села («вопчие»), сельцы, починки, деревни («вопчие», оброчные, своеземские, монастырские), ямы (селения при магистральных дорогах с главными функциями поддержания в порядке дороги и обслуживания проезжающих), пустоши (рисунок 1.8) [148, 151].

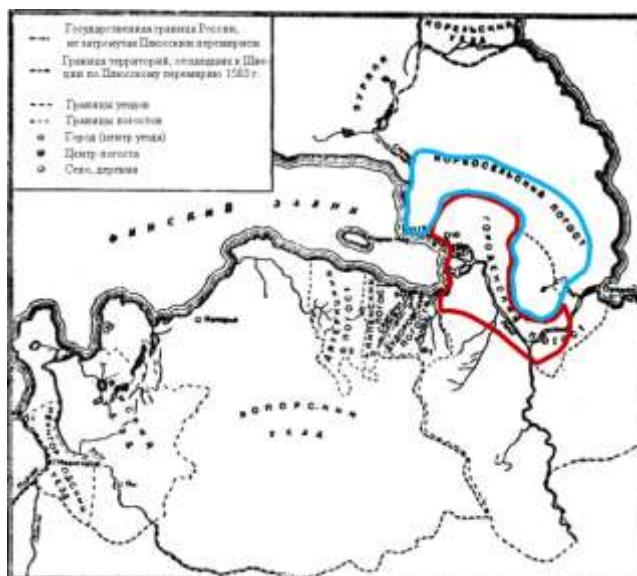


Рисунок 1.8 – Административно-территориальное деление Ореховецкого уезда Водской пятины

Анализ материалов генеральной переписи населения, осуществленной в Водской пятине в 1498–1501 гг. дьяками Дмитрием Васильевичем Китаевым и Никитой Семеновичем Моклоковым (Губой) позволяет исследовать особенности землевладения, землепользования и системы расселения на территории двух погостов (Спасского Городенского и Воздвиженского Корбосельского) для трех качественно разных этапов: до 1470-х годов; в 1470–1490-е годы (так называемое «старое письмо»); 1498–1501 гг. (так называемое «новое письмо») (таблица 1.2) [52, 149].

На этих землях располагалось значительное количество русских и ижорских поселений, подавляющая часть которых представляла собой деревни из одного – трех дворов. Деревня, в течение всего рассматриваемого периода, это не просто группа домов и хозяйственных построек – это целый комплекс тяготеющих к ней угодий: участки обрабатываемой земли, луга, пашни, сенокосы, районы выпаса скота. Вблизи существовавших поселений размещались многочисленные отходы жизнедеятельности человека, приуроченные к хозяйственно-бытовым и промысловым отраслям, иногда они сбрасывались в расположенные рядом водотоки. По подсчетам петербургского специалиста по истории градостроительства С.В. Семенцова, на территории современного мегаполиса в XV веке располагалось уже примерно 250 населенных пунктов.

Таблица 1.2 – Хозяйственные особенности Спасского Городенского и Воздвиженской Корбосельской погостов в конце 15 – начале 16 вв.

Спасской Городенской погост	Воздвиженской Корбосельской погост
До 1470-х годов	
- 2 волости и 11 деревень.	- 5 волостей и не менее 61 поселения.
1470-е - 1490-е годы	
- 5 волостей - В погосте насчитывалось 106 поселений с общими размерами пашенных и облагаемых налогами земель в 209,8 га (256 обжами) земли: 1 погост, 3 «вопчие» села, 102 деревни с 242 дворами крестьян, рыбаков и ремесленников. - Переписью отмечено 330 хозяев (мужчин - глав семейств).	- 8 волостей - 155 сел и деревень, общей численностью 265 дворов с 271,2 га (331 обжей) земли и облагаемым налогами населением в 392 хозяина.
1498-е-1501-е годы	
- сохранились 5 волостей, но существенно изменилась структура поселений. - 118 поселений - среди 11 «вопчих» сел и деревень было погостское село Спасское, 105 деревень, 1 починок, 3 пустоши. - зафиксировано 324 двора с землями общим размером в 176,7 га (215,5 обож). - Численность мужского населения погоста (хозяев дворов) составляла 427 мужчин.	- 8 волостей, с равномерным распределением сел и деревень собственных и арендуемых (поместных и оброчных). - 5 «вопчих» сел, 146 деревень - Общее число дворов в погосте выросло и составило 335 с пашенными землями в 229,2 га (279,5 обож). - Численность включенных в текст Писцовой книги мужчин-хозяев составила 421 человек.

В переписной книге 1500 года в дельте Невы значатся населенные острова – Васильев и Фомин. Здесь имелись достаточно крупные по размерам и значимые в административном плане поселения. Два из них — селения Александровских и Олферьевских ловцов, включавшие соответственно 13 и 15 дворов — находились на Васильевском острове. Село «на Фомине острове» (современный о. Петроградский) состояло из 36 дворов, здесь же располагался «двор тиун на приезд», содержавшийся за счет Спасского Городенского и Карбосельского погостов. Еще одно сельцо из 18 дворов размещалось в устье реки Охты. Помимо этого на территории современного Петербурга в XV—XVI вв. имелись и другие села: Кулза (15 дворов) на северном берегу Невы близ устья, Лахта и Лисичье (соответственно 10 и 28 дворов) у побережья Финского залива [168].

Согласно историческим материалам Разрядной книги 1475–1605 гг. одним из крупнейших поселений Спасского Городенского погоста являлось село

Спасское с церковью Спаса Преображения и кладбищем, расположенное на левом берегу реки Невы в районе Смольного собора [163].

Кроме того, архивные данные письменных источников по международной торговле XV в. в устье Невы свидетельствуют о существовании городского центра, основным составляющим которого с 1521 г. было «сельцо на Усть Охты на Неве», основанное на месте крепости Ландскрона. Следует отметить, что эта территория не затапливалась даже при высоких наводнениях, здесь отмечается сложный разрез, стратиграфия которого должна учитывать ранние поселения, а также наличие слоев с особыми показателями состояния и физико-механических свойств. Согласно Писцовой книге Водской пятины 1500 года, волость «деревни на усть Охты» принадлежала Олферию Ивановичу Офонасову и включала 18 дворов и земельных угодий. Специфика хозяйственного освоения земель характеризовалась, в основном, рыболовным промыслом и ремесленничеством (77% от общего числа крестьян), земледелием занималось только 23% жителей, которые из зерновых культур выращивали рожь – 5040 л («ржи двенадцать коробей»). Следует отметить, что помимо основных видов хозяйственной активности начинает развиваться торговая деятельность.

Судя по отрывочным документам, уже в XVI в. на основе охтинского поселения сформировался торговый центр, получивший название Невское устье (более подробные сведения о нем зафиксированы в Обыскных книгах 1599–1600 гг.). В документе, датированном 1599–1601 годами, зафиксировано, что здесь были церковь Михаила Архангела, корабельная пристань, Государев гостиный двор, таможня; велась международная торговля. Известно, что только в 1615 г. сюда приходили 16 судов из Выборга, Ивангорода, Ладоги, Нарвы, Новгорода, Норчепинга, Ревеля, Стокгольма.

О существовании на данной территории многовекового поселения свидетельствуют результаты Санкт-Петербургской археологической экспедиции Северо-Западного НИИ 1992 года, которая установила расположение кладбища XVI в. на левом берегу реки Охты в Невском устье [169].

В ходе раскопок было выявлено, что кладбище занимало прибрежную полосу протяженностью около 50-80 м и шириной около 30-50 м., где были изучены 216 захоронений (рисунок 1.9) [166]. Выяснено, что часть из них уничтожена или перенесена при строительстве фортификационных сооружений XVII в., часть повреждена современными инженерными коммуникациями и постройками. В засыпанных рвах в большом количестве встречаются, как выражаются археологи, переотложенные кости, относившиеся примерно к 300 разрушенным захоронениям. На сохранившихся участках кладбища могилы во многих случаях перекрывают друг друга в два-три яруса. Погребенные лежали на спине, со скрещенными руками, часть – в гробах, от которых сохранились древесный тлен и кованые гвозди. Головы похороненных ориентированы в основном на юго-запад, в отдельных случаях – на северо-восток и северо-запад. Удалось зафиксировать два групповых захоронения, вероятно, связанных с военными действиями: на деревянном настиле усопшие были уложены в ряд. В пяти могилах среди костей обнаружены свинцовые пули. Остатки двух обследованных погребений были нарушены, судя по всему, еще в древности. Это обычное явление для существующих длительное время кладбищ, когда при устройстве новых захоронений старые погребения нарушаются.



Рисунок 1.9 – Захоронения из могильника на левом берегу Охты

Разнообразие ландшафтов и форм их эксплуатации стало основной причиной гармоничного сосуществования на небольшой территории (менее 1 тыс. кв. км) двух принципиально различных типов освоения. Пользуясь классификацией В.П. Семенова-Тянь-Шанского, эти типы можно определить как «промысловый северный с малой ролью земледелия, руководимый течением рек и берегами озер», и «северо-западный нечерноземный земледельческий, руководимый водораздельным положением наиболее удобных почв» [15].

В связи с этим, административное деление территории допетровского Петербурга конца XV в. во многом базировалось на ландшафтно-хозяйственной ориентации групп поселений, которая характеризовалась многообразием хозяйственных укладов: чисто промысловый (1), промысловый с интенсивным трехпольным земледелием (2), интенсивный земледельческий (3) и экстенсивный подсечно-огневой земледельческий (4), что способствовало формированию в изучаемом регионе гнездового типа расселения (таблица 1.3).

По материалам писцовых и обыскных книг, особенности заселения и земледельческого освоения края были обусловлены спецификой расположения плодородных земель: «...Большинство удобных для обработки земель (пашни, сенокосы) расположены по берегам узкой лентой, причем иногда через 100-200 метров от реки уже начинался «сузем». Сузем или суземье – водороздел, покрытый болотами или труднопроходимым лесом...».

Как известно, к рассматриваемой территории приурочены плохо аэрируемые подзолистые и дерново-подзолистые почвы, богатые разнообразными микроорганизмами (бактериями, актиномицетами, плесневыми и дрожжевыми культурами, протозоа и водорослями). Так как эти условия в подзолистых почвах весьма разнообразны, то и состав микрофлоры подзолистых почв изменяется в широких пределах, однако в целом он все же отличен от состава микрофлоры других типов почв.

Таблица 1.3 – Хозяйственные особенности отдельных районов территории допетровского Петербурга конца XV в. [27, 153]

Промысловый район		Земледельческий район	
1. Промысловый	2. Промысловый с интенсивным трехпольным земледелием	3. Интенсивный земледельческий	4. Экстенсивный подсечно-огневой земледельческий
<p>Промысловое рыболовецкое хозяйство (как профессиональный род занятий) преобладало в нижнем течение дельты Невы и ее притоков (северная часть Спасского Городенского погоста), что стимулировало быстрый рост поселений, поскольку не было нужды в освоении крупных земельных площадей, а поартельное расселение приносило только выгоду. В низовьях реки Невы находилось 13 дворов непашенных рыболовов, а в верховьях - 7.</p>	<p>Северо-запад и юго-запад рассматриваемой местности относился к интенсивным формам земледелия, объем эксплуатируемой земли можно оценить в 1,7-2,5 тыс. га. Здесь, вероятно всего, доминировало трехполье, перелог же (подсечно-огневой) не мог широко использоваться, поскольку был ограничен отсутствием большого количества пригодных для земледелия почв. Занятие рыбной ловлей носило подсобный характер.</p>	<p>Районом высокопродуктивного земледелия являлась северо-восточная часть будущего города (от устья Черной речки до Невских порогов). Здесь преобладали деревни, состоящие из 1-3-х дворов, с достаточно крупными, по земледельческим меркам, наделами пашни. Основными сельскохозяйственными культурами были пшеница, рожь, овес, ячмень, просо, горох, бобы, гречиха, лен и др. Объем высева яри на единицу площади оценивался по-разному: 420 л на 1,1 га (1 коробья на десятину), как и озимь, 840 л на 1,1 га (2 коробья на десятину). Исходя из предложенной трактовки «яри» писцовых книг, можно оценить объем обрабатываемых земель в 10-11 тыс. га.</p>	<p>Ориентацией на чисто земледельческое экстенсивное хозяйство, с большой долей лесного перелога (соответственно 1,0-1,3 тыс. га и 130-160 га сельскохозяйственных угодий) отмечается в восточной части изучаемой территории. В условиях земледельческого освоения территорий автоматически поддерживалась стабильная норма состава деревни в 2-4 семьи, где было 2-4 взрослых работника. Из зерновых культивировались: рожь, ячмень, овес, лен</p>

Общая численность микроорганизмов в подзолистых и дерново-подзолистых почвах обычно значительно меньше, чем в черноземах. Е.Н. Мишустин приводит в качестве типичных показателей данные о количестве микроорганизмов на 1 г почвы (таблица 1.4) [74, 116, 117]. Уменьшение численности микроорганизмов в подзолистых почвах по сравнению с черноземными наблюдается в отношении почти всех групп микроорганизмов, но особенно оно характерно для споровых бактерий и актиномицетов. Кроме того, погребенные почвы будут обогащать подстиляющую толщу различными группами микроорганизмов.

Таблица 1.4 – Количество микроорганизмов в старопашотных подзолистых и черноземных почвах [116, 117]

Почва	Количество микроорганизмов (тыс. на 1 г. почвы)				
	Всего	В том числе			
		бактерий	споровых бактерий	грибов	актиномицетов
подзолистые и дерново-подзолистые	2620	1800	430	30	790
чернозем	4533	2940	1000	23	1570

Установлено, что для подзолистых почв характерно доминирование следующих бактериальных группировок *Bacillus mycoides*, *Bacillus cereus* и *Bacillus virgulus*, дрожжевая микрофлора представлена родом *Candida*, а среди грибов преобладают *Penicillium* и *Mucor*, размножающиеся на субстратах с большим количеством свежих растительных остатков.

В тесной связи с земледелием находилось и скотоводство: разводили свиней, коров, мелкий рогатый скот. В качестве рабочего скота в районах интенсивного земледелия использовали волов, а в полосе экстенсивного земледелия – лошадей.

Следует отметить, что функционирование животноводческих хозяйств сопровождается накоплением громадного количества навоза, который служит источником поступления органических соединений абиотического и биотического генезиса, что благоприятствует активизации микробиологической деятельности в подземном пространстве. Известно, что жидкий навоз до его

осветления обладает чрезвычайно большой бактериальной обсемененностью. Микробное число выражается десятками миллионов, а колииндекс – несколькими миллионами (таблица 1.5, 1.6). Так, количество жидкого навоза, поступающего от свиноводческого комплекса по откорму 108000 голов в год составляет 3000 т/сут (свыше 1 млн т/год), от молодняка крупного рогатого скота – 250 т/сут (свыше 90000 т/год). Количество отходов от 1 коровы эквивалентно отходам от 10 человек, а от одной свиньи – от трех человек [119].

Таблица 1.5 – Химический состав навоза животноводческих комплексов, г на 1 кг живого веса [119]

Навоз	БПК ₅	БПК _{полн}	ХПК	К	N	P	Взвешенные вещества
Крупного рогатого скота	1,7	4,5	14,0	3,8	4,0	0,3	7,5
Свиной	5,0	10,0	12,0	2,9	0,027	6,0	10,0
Куриный помет	3,7	7,3	17,0	5,8	0,04	18,0	12,0

Таблица 1.6 – Химический состав сточных вод комплекса крупного рогатого скота и свиного комплекса, мг/дм³ [119]

Показатель	крупный рогатый скот	свинокомплекс
азот общий	600-800	1500-2500
азот аммонийный	500-650	600-800
фосфор общий	350-450	500-900
калий	700-850	400-500
pH	6,9-7,2	5,8-6,2

Данные о количестве веществ, содержащихся в отходах от одного взрослого животного, приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Количество различных веществ в отходах от одного взрослого животного, кг/сут [119]

Животное	БПК ₅	БПК _{полн}	ХПК	К	N	P	Взвешенные вещества
корова	0,9-1,0	1,0-3,0	2,9-9,0	0,07-0,20	0,08-0,246	0,5-0,15	46,0
свинья	0,23	0,46	0,55	0,011	0,027	0,011	3,9
птица	0,02	0,04	0,01	0,002	0,04	0,002	0,63

Следовательно, интенсивное освоение региона в XII-XV вв. характеризуется локальным загрязнением в районе существовавших поселений, в основном, за счет сброса хозяйственно-бытовых и фекальных стоков, содержащих значительное количество органики и микроорганизмов, биогенных элементов, сульфатов, хлоридов, а также размещения животноводческих комплексов.

1.3 Особенности освоения земель и инженерно-хозяйственная деятельность Восточной Ингерманландии

Историографии развития территории Санкт-Петербурга в шведский период посвящены многие работы, наиболее масштабной из которых является фундаментальный труд об основании и становлении города Ниена, подготовленный финским пастором А.И. Гиппингом. Кроме того, изучением данного вопроса занимались Ю.Г. Алексеев, Л. Багров, Ю.Н. Беспярых, А.И. Бергенгейм-первый, К. Бонсдорф, Г. Бээрнхильм, В.Е. Возгрин, Б. Гефферт, А.И. Гиппинг, С.Б. Горбатенко, Р.Л. Золотницкая, Х. Келина, А.Н. Кирпичников, В.В. Колгушкин, А.А. Куник, О.А. Красникова, А.С. Лаппо-Данилевский, Т.П. Мазур, К.А. Неволин, Г.А. Немиров, К. Оландер, А.П. Пронштейн, С. Кепсу, С.В. Семенцов, П.Е. Сорокин, А.Л. Шапиро, И.П. Шаскольский, Т.А. Шрадер, У. Эренсверд и др [9, 87, 91, 183].

Следует отметить, что важнейшими источниками информации для установления специфики хозяйственного освоения на территории Санкт-Петербурга во времена шведского господства являются серии карт и планов XVII века, сводный каталог которых был опубликован в 2000-х годах Семенцовым С.В. (таблица 1.8) [105, 154, 159].

Прежде всего, планографические материалы включают планы и карты рукописные и печатные (гравированные, литографические и т.д.), проектные и фиксационные, профессиональные (градостроительные, архитектурные, строительные, фортификационные, межевые, землеустроительные и лесоустроительные, гидрографические и т.д.) и общие (неспециализированные,

для широкой публики, туристические и т.д.), статистические, аналитические. В настоящее время выявлено более 5 000 планов Санкт-Петербурга и окрестностей.

Таблица 1.8 – Картографический материал территории Санкт-Петербурга в 17-18 вв [8, 22, 145].

№	Название карты	Год	Примечание
1	Карта дорог между Ниеном, Кексгольмом и Нотебургом	1630-е	
2	«Окрестности Ниена»	1638–1639	
3	Карта Нотебургского лена. Реновация К. Стюарта.	1699	Начерчена П. Васандером
4	План Ниена Аспегрена	1643	
5	Проектный план Ниеншанца Г. фон Швенгель	1644	Оригинал опубликован В. Кочедамовым
6	Карта островов дельты Невы Аспегрена	1650	
7	Проектный план Ниеншанца	1671	
8	Проектный план Ниеншанца	1675	Оригинал опубликован Л. Мунте
9	Карта Ингерманландии Бергенгейма 1-го	1676	
10	План Ниеншанца		
11	Геометрическая карта Спасского погоста Торинга	1680	
12	Геометрическая карта Невы	1681	
13	Карта Нотебургского лена Э. Белинга	1688	
14	Фиксационный план Ниеншанца Ю. Майер	1698	
15	Карта Спасского погоста	1698	
16	Проектный план Ниеншанца. К. Стюарт	1698	
17	Карта бассейна р. Невы. Э. Дальберг	1681	
18	Карта Нотебургского лена Вассандера	1699	
19	Хорографическая карта русла Невы	1701	
20	Гидрографическая карта бассейна р. Невы. К. Элдберг	1701	Копии в РГАВМФ; во фрагментах опубликованы С. Кепсу
21	Карта части Нотебургского лена с бассейном р. Невы. Ю. Бласинг	кон. 17 – нач. 18 вв.	Опубликован М. Марченко
22	План дельты р. Невы с окрестностями Ниена. А. Крониорт	1698	Копия М. Коврина 1749 г.
23	План Ниена с окрестностями	1670-е	
24	Хорографическая карта русла Невы	1701	
25	Карта Ингерманландии А. Андерсина	1704	

Известно, что в 1570-е гг. территория бывшей Водской пятины стала ареной военных действий в ходе русско-шведской войны. После неоднократных нападений шведских войск, земли от Финского залива до Ладожского озера фактически перешли под управление Швеции. Возобновив войну в 1590 г., Россия добилась успеха и по Тявзинскому миру 1595 г. на время вернула себе утраченные земли. Однако в начале XVII в., шведские войска под началом Я.П. Де Ла Гарди сумели снова утвердиться на берегах Невы. В 1617 году по заключенному Столбовскому договору изучаемая территория юридически принадлежала Шведскому государству и официально именовалась Ингерманландия или, в латинизированной форме, Ингрия [40, 161].

Под Ингерманландией (название произошло от слияния двух слов: финского «Inkerinmaa» («страна ингров», «Ижорская земля») с немецким «land» («страна», «земля») во времена шведского владычества понималась территория между берегом Финского залива и линией тогдашней шведско-русской границы, ограниченная на западе рекой Нарвой, на востоке - рекой Невой и юго-западным побережьем Ладожского озера [3, 77]. Южная часть Карельского перешейка относилась тогда к Финляндии, и Нева, таким образом, считалась географической границей между Ингерманландией и Финляндией (рисунок 1.10) [83].



Рисунок 1.10 – Территория Ингерманландии (Ингрии) в XVII веке

Среди всех известных карт Ингерманландии самая знаменитая и самая подробная «Генеральная карта провинции Ингерманландии. Андерс Андерсин» (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Генеральная карта провинции Ингерманландии. Андерс Андерсин. 1704 г. [152]

В административном отношении территория Ингерманландии конца XVII века была разделена на 4 лёна: Нётеборгский (Ореховецкий), Копорский, Ямской и Ивангородский, которые насчитывали 27 погостов и 1991 поселение (рисунок 1.12) [6, 26].

Схема сельской системы расселения Ингерманландии, воссозданная по данным шведской картографии, представлена на рисунке 1.13 [152].

Следует отметить, что территория будущего мегаполиса относилась к восточной провинции Ингерманландии (Ingermanland) и входила в состав Нотеборгского лена (Nöteborgs (Nötheborgs) Lähn), включая в свою структуру только Спасский и Корбосельский погосты (Spasskoj Pogost, Korboselskoj Pogost) [6].

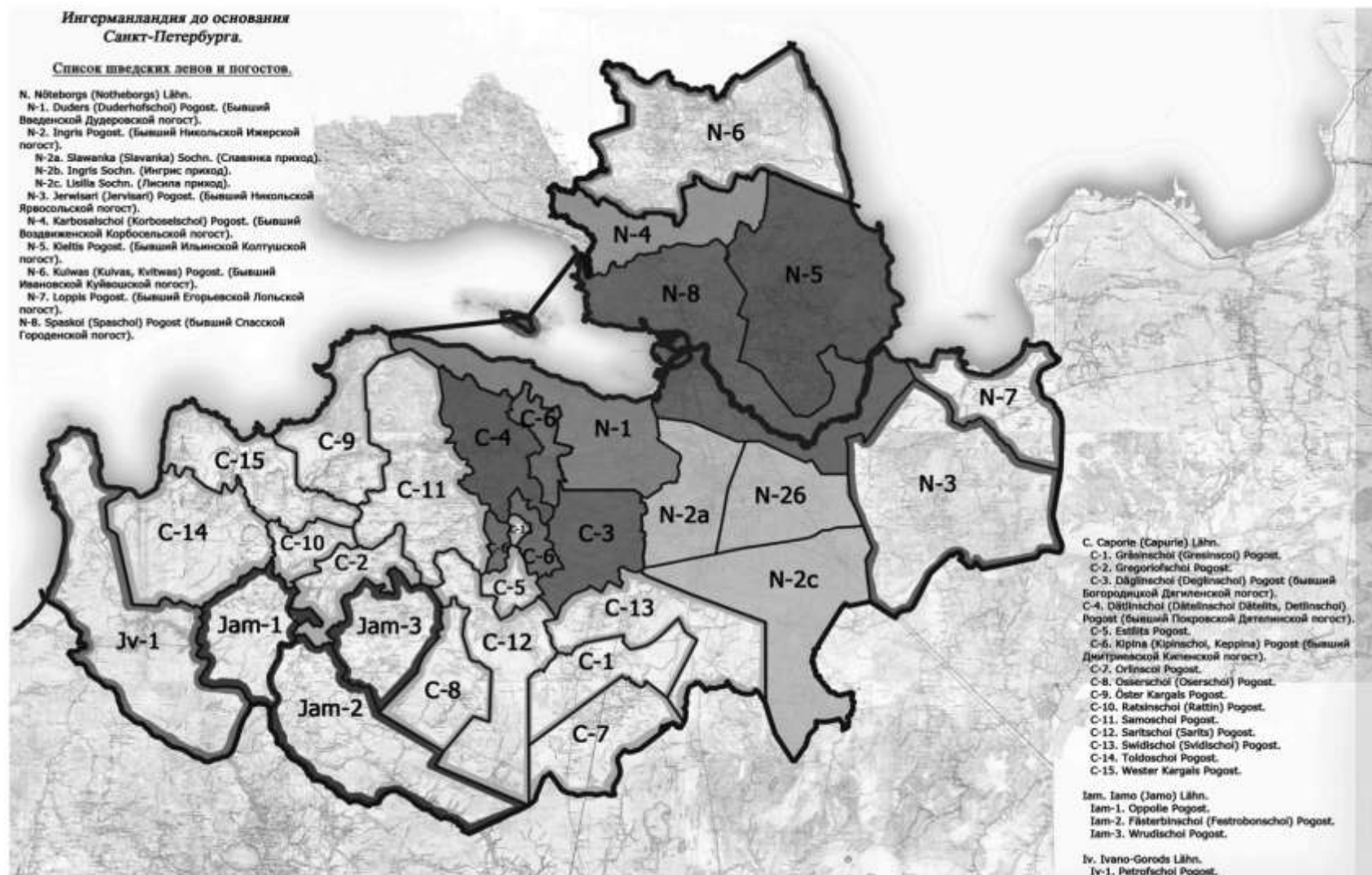


Рисунок 1.12 – Схема шведских ленов и погостов на территории Ингерманландии. Вплоть до 1703–1704 гг. (по данным шведской картографии)



Рисунок 1.13 – Ингерманландия до основания Санкт-Петербурга (до 1703 г.). По данным шведской картографии

В период шведского правления освоение допетровского Санкт-Петербурга проходило достаточно интенсивно за счет притока новой рабочей силы из Швеции и Германии, о чем свидетельствуют многочисленные архивные и картографические материалы 1640–1690-х годов [33, 35, 94, 118, 178].

Необходимо подчеркнуть, что ведущей отраслью оставалось земледелие, которое начинает господствовать и в северной части будущего города. Помимо производства основных зерновых культур, выделяют специальные городские поля, где выращивают хмель, использующийся в пивоварении. В связи с ростом производительных сил в сельском хозяйстве происходит значительное увеличение площади обрабатываемых земель, что сопровождается широким применением различных удобрений и развитием скотоводства. На основе охотничьих и рыболовных угодий (рыбная тоня майора Де Ла Гарди, усадьба ротмистра Конау, Ладугердс), которые продолжают играть существенную роль, начинают формироваться небольшие специализированные предприятия и комплексы. Характерной особенностью шведского периода является становление и процветание промышленного производства: кирпичные, железоделательные, лесопильные и пороховые заводы, каменоломни, артиллерийские лаборатории [42, 50, 93, 139].

Активное освоение региона способствует расширению международной торговли, что подтверждается данными картографических источников, на которых выявлена развитая трассировка существовавшей в Ингерманландии водной и дорожной сети различного значения (от государственных трактов, до местных проездов-подъездов). Среди этих дорог выделялись государственные тракты, соединявшие Ниен с Нотеборгом (Орешек), Кексгольмом (Приозерск), Выборгом, Нарвой и Новгородом (рисунок 1.14) [43, 150].

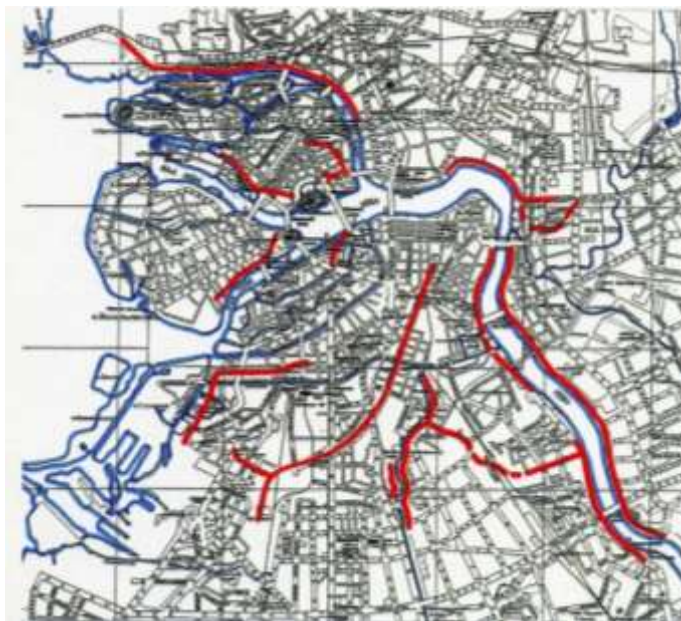


Рисунок 1.14 – Фрагменты дорог XV-XVII вв., сохранившиеся в трассировке улиц и магистралей современного Санкт-Петербурга. Реконструкция Семенцова С.В. [150]

Интенсивное использование земельных угодий привело к постепенной интеграции населенных пунктов и появлению многоуровневой системы поселений с городами, имеющими торговые и ремесленные функции, центрами погостов с административным управлением; господскими усадьбами и мызами. Малодворные (один-два двора) деревни объединяются в крупные многофункциональные селения с приходскими храмами разных конфессий (протестантской и православной).

В 1642 году торговым и административным центром Восточной Ингерманландии стал город Ниен (Ниенштадт) с крепостью Ниеншанц, который размещался на правом берегу реки Охты (территория современной Большой Охты) (рисунок 1.15, 1.16) [1].



Рисунок 1.15 – Схематическая карта устья Невы 1630-1640-х годов [31]



Рисунок 1.16 – Ниеншанц и город Ниен с окружающими его владениями Стеена фон Стеенхузена, 1650 г:

1 – крепость Ниеншанц, 2 – город Ниен, 3 – чугунный подъемный мост

Шведская крепость Ньюен (по-шведски – Ньюенсканс, по-фински – Неванлинна, по-немецки – Ниеншанц, по-русски – Канцы) сооружалась в устье реки Охты (вплоть до совр. Малоохтинского кладбища) в 1609-1611 годы под

руководством строительного мастера Даниэля Брандта, затем мастера Херро Янсса [37, 86]. На территории деревянных крепостных сооружений четырехугольной конфигурации размещался Королевский двор шведского наместника – Конунгс-Гардена с гарнизоном численностью 500 человек. В 1656 году после сильного пожара была проведена крупнейшая реконструкция города и оборонительных сооружений под руководством шведских инженеров.

Под началом инженера С.Г. Хельмфельта на месте Конунгс Гардена выстроена современная, по европейским фортификационным правилам, пяти-бастионная с 2 рavelинами цитадель Ниеншанц. Ее бастионы получили названия – Гельмфельтов (А-Helmfelts bastion), Мельничный (В-Kvarn bastionen), Старый (С-Gamla bastionen), Мертвый (D-Duda bastionen), Карлов бастионы (Е-Carolus' bastion), а рavelины назывались Большой (F-Stora Porttravelinen) и Малый (G-Liila Porttravelinen) (рисунок 1.17) [171, 184].



Рисунок 1.17 – Ниеншанц. План крепости (конец XVII в.), реконструкция С. Семенцова по архивным планам

Проектные планы и карты второй половины XVII в. отражают сложившиеся элементы планировки и позволяет получить некоторую информацию о реальной структуре Ниена. К середине XVII века город был крупнейшим населенным пунктом Нотеборгского лена, намного превосходящим по размерам и богатству административный центр – город Нотеборг. Население города составляло около 2 тыс. человек (шведы, немцы, русские и финны), которые занимались торговлей, ремёслами, земледелием, рыболовством и судовождением. Здесь преобладала

деревянная усадебная застройка, состоящая из 66 прямоугольных кварталов, в которых размещалось более четырёхсот податных дворов [38].

На фиксационном плане Ю. Майера 1698 года (рисунок 1.18) отмечена центральная часть города, которая занимала водораздельную часть и пойму рек Невы и Охты (в современных границах: Конторская ул., Среднеохтинский пр., Красногвардейская пл.) [39].



Рисунок 1.18 – «План Ниена. Ю. Майера». 29 июня 1698 г. (Фиксационный)

В южной части Ниенштадта размещалась общая шведско-немецкая церковь с кладбищем, ратуша и рыночная площадь. В северной части находилась финская кирха, которая ранее принадлежала отдельному немецкому приходу. С востока этот район ограничивался полями, к северу от которых находился городской сад. На западе размещались старая и новая ратуши, шведская школа, таможня, торговые лавки (гостиный двор), мытный двор, казармы для солдат, склады и сараи для хранения припасов (рисунок 1.19).



Рисунок 1.19 – Схематический план города Ниена и крепости Ниеншанц, XVII в.

Центр города украшали 3 площади – площадь вокруг Шведского собора со зданием школы, площадь вокруг Немецкой церкви, главная городская площадь с ратушей и таможней. Крепость Ниеншанц и город Ниен соединялись чугунным подъемным мостом через реку Охту, также несколько постоянных мостов было установлено через реку Чернавку. Кроме того, от Ниеншанца и устья реки Охты существовала речная переправа к противоположному берегу Невы, где издавна находилось село Спасское с церковью Спаса Преображения, ставшей оплотом православия во всем крае. Следует отметить, что на протяжении второй половины XVII в. Спасское принадлежало городу Ниену и именовалось как Ратсдорф или Хакельверк (предместье) [41, 122, 138].

Проведенные в 1680-е годы шведским правительством землемерные работы стали основой для составления детальной карты дельты реки Невы 1698 года, которая позволяет с высокой точностью выявить особенности территориального использования этих земель во время их принадлежности Восточной Ингерманландии (рисунок 1.20). Особенно выделялись своей многовековой освоенностью восточный и южный берега острова Койвисаари, восточная часть

острова Хирвисаари, северо - восточная часть островов Усадисса и Первушкина [128, 158, 188].



1 - Мистулласаари (Елагин остров), 2 - Ристусаари (Крестовский остров), 3 - Кивисаари (Каменный остров), 4 - Корнисаари (Ангекарский остров), 5 - Койвусаари (Петроградский остров), 6 - Пагсаари (Петровский остров), 7 - Яннисаари (Заячий остров), 8 - Хирвисаари (Васильевский остров), 9 - Всадиц хольм (Адмиралтейский остров), 10 - Первушкина хольма (территория между Мойкой и Фонтанкой), 11 - Калайасаари (Магисов остров), 12 - Кивисаари (Канонерский остров), 13 - городской кирпичный завод, 14 - Крутая Пороховая башня, 15 - Артиллерийская лаборатория, 16 - Артиллерийское стрельбище с артиллерийским парком, 17 - местный кирпичный завод, 18 - рыбная тоня майора Де Ла Гарди, 19 - усадьба ротмистра Конау, 20 - Ладугерде.

Рисунок 1.20 – Карта дельты Невы 1698 года, составленная комендантом крепости Ниеншанца, шведским бароном Авраамом Крониортом

Ретроспективный метод, основанный на анализе шведских картографических материалов позволяет реконструировать сотни поселений с возделанными землями (огородами, пашнями, садами, пастбищами, сенокосами) на изучаемой территории в конце XVII в (рисунок 1.21). Например, только в дельте Невы находилось более 139 селений разной величины, основная часть которых располагалась мозаично вдоль берегов Невы, ее проток и притоков, вдоль государственных трактов и местных дорог, а также группами (или «гнездами») на возвышенных местах, создавая разветвленную сеть. Среди них были господские мызы, такие как Поссола Хоф (Possola hoff), Аккерфельтс Хоф (Akerfelts hoff), Мернерцхольм Хоф (Mornerzhholm hoff), Бьеркенгольм Хоф (Bjoerkenholm hoff), Враловцина Хоф (Vralofzina hoff), Усадис Хоф (Usadiss hoff),

Сюврюна Хоф (Sywryna hoff), Рехилакс Хоф (Rohilax hoff) и другие [124, 125, 156].

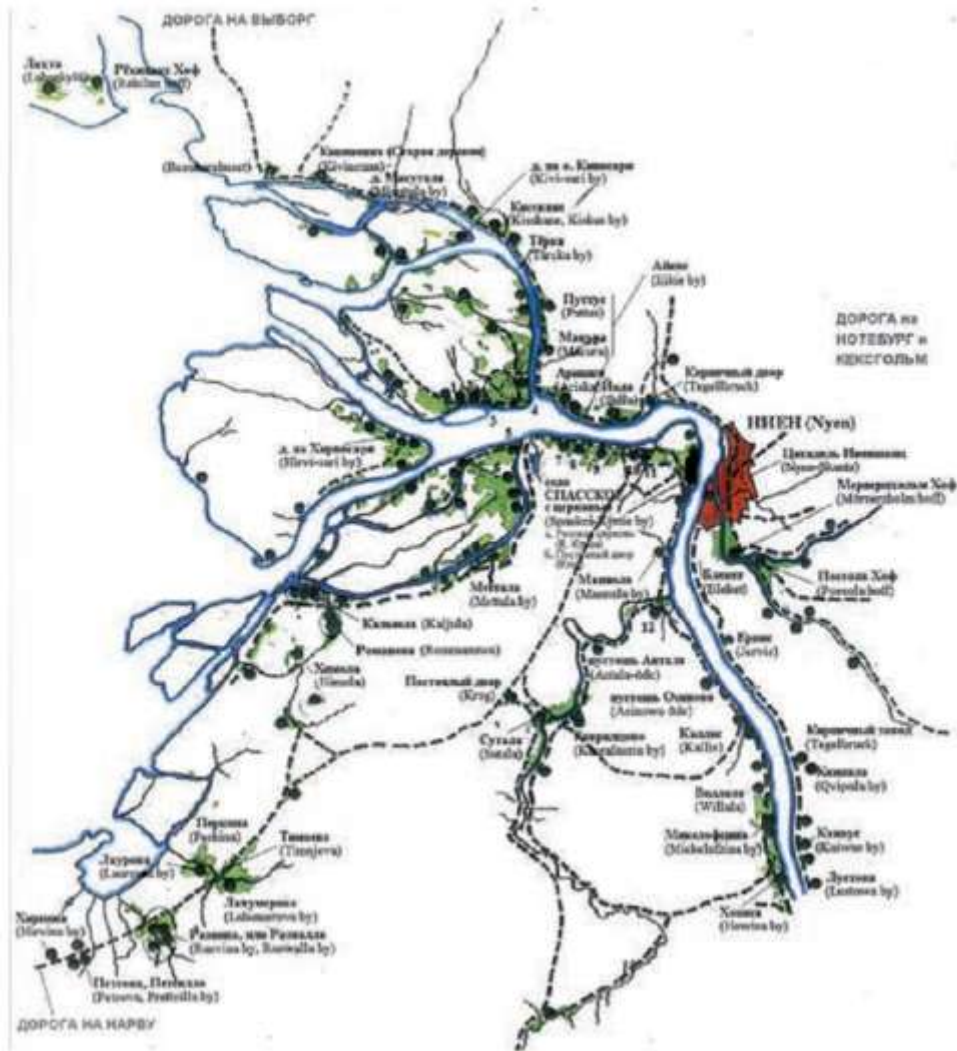


Рисунок 1.21 – Система поселений в дельте Невы на конец XVII в. (шведский период – 1700-1702 гг.). Реконструкция Семенцова С.В. по материалам коллекций БРАН и РНБ, работ А. И. Гиппинга, Л. Багрова и Х. Келина, А. С. Лаппо-Данилевского, Уллы Эренсверд, Кепсу Сауло

Расширение площади жилых и обслуживающих зон, развитие транспортных коммуникаций, торговых площадей привело к резкому возрастанию техногенной нагрузки на подземную среду, увеличению хозяйственно-бытовых свалок и других жидких отходов при отсутствии системы водоотведения.

Известно, что отходы жизнедеятельности людей и домашних животных: фекалии, остатки пищи, мелкий мусор и др. поступают в подземное пространство вместе с хозяйственно-бытовыми сточными водами, которые обладают постоянством состава и содержат около 400 мг бактерий в 1 дм³ (таблица 1.9).

Таблица 1.9 – Состав хозяйственно-бытовых сточных вод (мг/дм³) [119]

Компоненты	мг/дм ³
Взвешенные вещества	170-300
БПК ₅	120-220
БПК _{полн}	150-250
Перманганатная окисляемость	50-60
Азот аммонийный	10-20
Бихроматная окисляемость	300-450
Фосфор общий	5-10
Азот общий	10-25

Исторический аспект изучения территории позволяет проследить количество загрязняющих компонентов, поступающих с хозяйственно-бытовыми сточными водами в подземное пространство на протяжении XVI-XVII вв., что приводит к прогрессирующему негативному воздействию на подземные воды, а также грунты за счет привноса органических соединений абиогенного и биогенного генезиса и разнообразной микробиоты (таблица 1.10) [65, 66].

Таблица 1.10 – Количество веществ (г/сут на 1 чел), поступающих с хозяйственно-бытовыми сточными водами на территории будущего Санкт-Петербурга

Компоненты	г/сут на 1 чел	Спасский Городенский и Воздвиженский Корбосельский погосты 1498-1501	г. Ниен (1650 год)
Взвешенные вещества	65	$17 \cdot 10^4$	$13 \cdot 10^4$
БПК ₅	54	$14 \cdot 10^4$	$11 \cdot 10^4$
БПК _{полн}	75	$19 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^3$
Перманганатная окисляемость	6,0	$16 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$
Азот аммонийный	8,0	$21 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$
Фосфаты (P ₂ O ₅)	3,3	$86 \cdot 10^2$	$66 \cdot 10^2$
Фосфор минеральный	1,4	$36 \cdot 10^2$	$28 \cdot 10^2$
Хлориды (Cl ⁻)	9,0	$23 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^3$
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	4,4	$11 \cdot 10^3$	$88 \cdot 10^2$
Калий (K ₂ O)	3,0	$8 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$

На основе исторического аспекта развития города в допетровский период создана схематическая карта освоения и использования территории (рисунок 1.22).

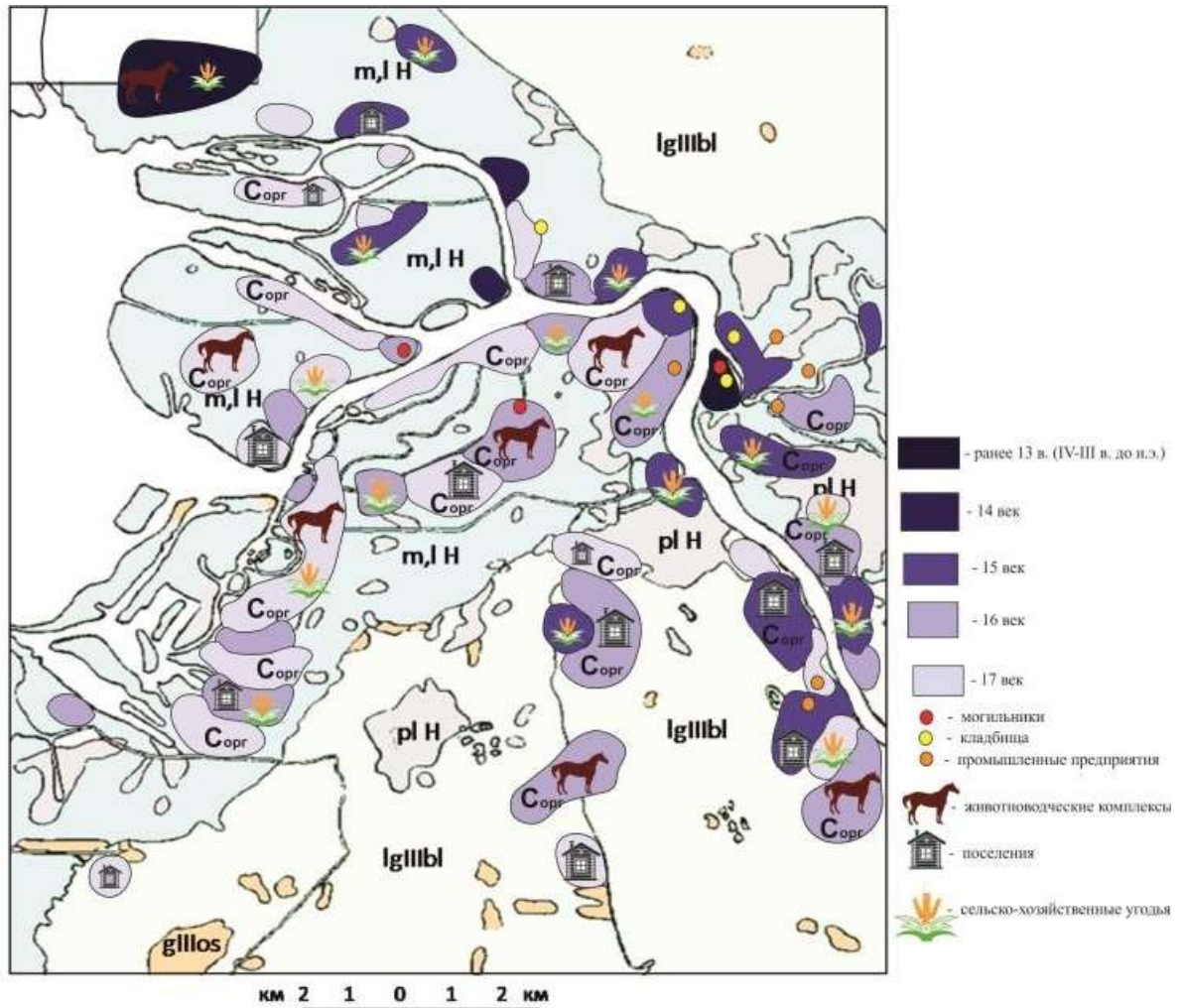


Рисунок 1.22 – Схематическая карта использования территории дельтовой части Невы до создания Санкт-Петербурга

1.4 Общие положения контаминации подземной среды в период функционирования и развития мегаполиса Санкт-Петербурга-Петрограда-Ленинграда-Санкт-Петербурга

16 (27) мая по приказу Петра I на заселенных островах невской дельты был заложен город Санкт-Петербург. Многовековая история освоения изучаемой территории свидетельствует, что основой создания городских ансамблей и комплексов стали многочисленные поселения допетровского времени и существовавшие трассировки дорожных путей и магистралей, которые предопределили преемственный и эволюционный характер развития будущего мегаполиса [85, 111, 155]. Основание Петербурга и превращение его в столицу привели к быстрому расширению сложившейся системы расселения.

18 век

На первых этапах строительства нового города контаминации подземного пространства широко локального характера способствовало функционирование жилых зон. Исторический анализ структуры селитебных территорий свидетельствует, что в начале 18 века образовались жилые комплексы малой этажности, которые характеризовались примитивной системой водоотведения, также к их числу принадлежали дворцы аристократов, загородные резиденции и многочисленные дворянские усадьбы [48, 80, 81].

Следует отметить, что внутридомовые стоки и нечистоты, получаемые в процессе жизнедеятельности городского населения, выносились в специально отведенные для их сбора места. Домовые уборные устраивались или во дворах по типу отхожих мест, или холодного типа в пристройках к зданиям и в лестничных клетках, и только в благоустроенных домах для них отводились теплые помещения. Для приема стоков от уборных отрывались в земле выгребные колодцы с обделкой их стен деревом или камнем. Очистка выгребов входила в обязанности хозяина дома [71].

В основном к жилым зонам, площадь которых в 1717 г. составляла 12 км², а в 1828 г. достигла уже 54 км² примыкали участки возделываемой земли: сады и сельско-хозяйственные угодья (огороды, пашни, луга), которые как правило занимали прибрежное положение. Согласно данным И.Г. Георги на территории Санкт-Петербурга к концу XVIII века (1792-1794 гг.) насчитывался 4501 освоенный участок, на котором было возведено 1299 кирпичных дома и 2469 деревянных построек (по описям 1789-1792 гг.) [16, 17, 20, 134].

Действующие приусадебные угодья на территории города включали различные по своему пространственному признаку (площадные и точечные) и воздействию на компоненты ПП объекты сельского-хозяйства: пашни, луга, пастбища, постройки для содержания домашних животных (коровники, птичники, свинарники, хлева для крупного и мелкого рогатого скота), компостные ямы [129, 132, 137].

Известно, что во дворце Матильды Ксешинской, построенном в стиле «северный модерн» по проекту архитектора А.И. фон Гогена и расположенном в Петроградском районе (Кронверкий проспект, дом 1), было устроено подсобное домашнее хозяйство: огороды, парники, хлев для коровы, птичник, погреб, прачечная, сарай для экипажа. Кроме того, садовник Цизмер в городском особняке обустроил оранжерею и роскошный зимний сад [32, 45].

Согласно данным современных исследований можно предположить, что воздействие (радиус влияния) сельско-хозяйственных объектов, обеспечивающих дополнительное поступление органических соединений и микробиоты в обводненную толщу грунтов, прослеживается в пределах 1 км, а по глубине – в зависимости от проницаемости грунтов и длительности влияния.

Кроме того, вблизи существовавших поселений размещались многочисленные свалки хозяйственно-бытовых отходов, которые характеризуются высоким содержанием органических соединений. В верхней зоне свалочной массы в присутствии кислорода функционируют аэробные микроорганизмы, в основном бактерии и грибы. В бескислородной зоне наблюдается анаэробное разложение органических соединений микроорганизмами. При этом происходит их перенос в глубокие части разреза и наблюдается обогащение подземных вод и подстилающих грунтов органическими соединениями абиогенного и биогенного происхождения. Таким образом, в зоне расположения свалок отмечается снижение окислительно-восстановительного потенциала подземных вод и преобразование их химического состава, что выражается в высокой концентрации органических веществ, соединений серы и азота в различной степени их восстановления.

На протяжении 18 века к источникам контаминации, оказывающим локальное влияние на компоненты ПП в пределах материковой и островной части города, относятся ликвидированные и действующие кладбища, уничтоженные грунтовые могильники XIII-XVI вв., которые приносят в толщу грунтов сапрофитные и гетеротрофные микроорганизмы, а также органические соединения, прежде всего, белки, жиры, соединения азота, фосфора [79, 92]. Для химического состава грунтовых вод вблизи кладбищ характерны высокие значения органического

вещества, оцениваемого по показателю перманганатной окисляемости, ХПК, БПК₅ и, а также повышенная минерализация.

Кроме того, большой вклад в контаминацию городской территории вносило и функционирование промышленных предприятий, размещение которых было локализовано преимущественно вблизи водных артерий.

Анализ значительного объема фондовых и картографических материалов по истории развития города в 18 веке позволил выделить зоны с различной степенью контаминации подземной среды за счет природных и техногенных источников. Таким образом, на территории Санкт-Петербурга участки интенсивного освоения, на которых наблюдается смешение нескольких источников контаминации зафиксированы в юго-восточной и юго-западной части Васильевского острова, юго-западной, южной и восточной части Петроградского острова, северо-западной части Адмиралтейского острова, западной и восточной части Казанского острова, северо-восточной части Спасского острова, северной и северо-западной части Безымянного острова, прибрежной части Выборгской стороны (рисунок 1.23) [11, 19, 176, 177].

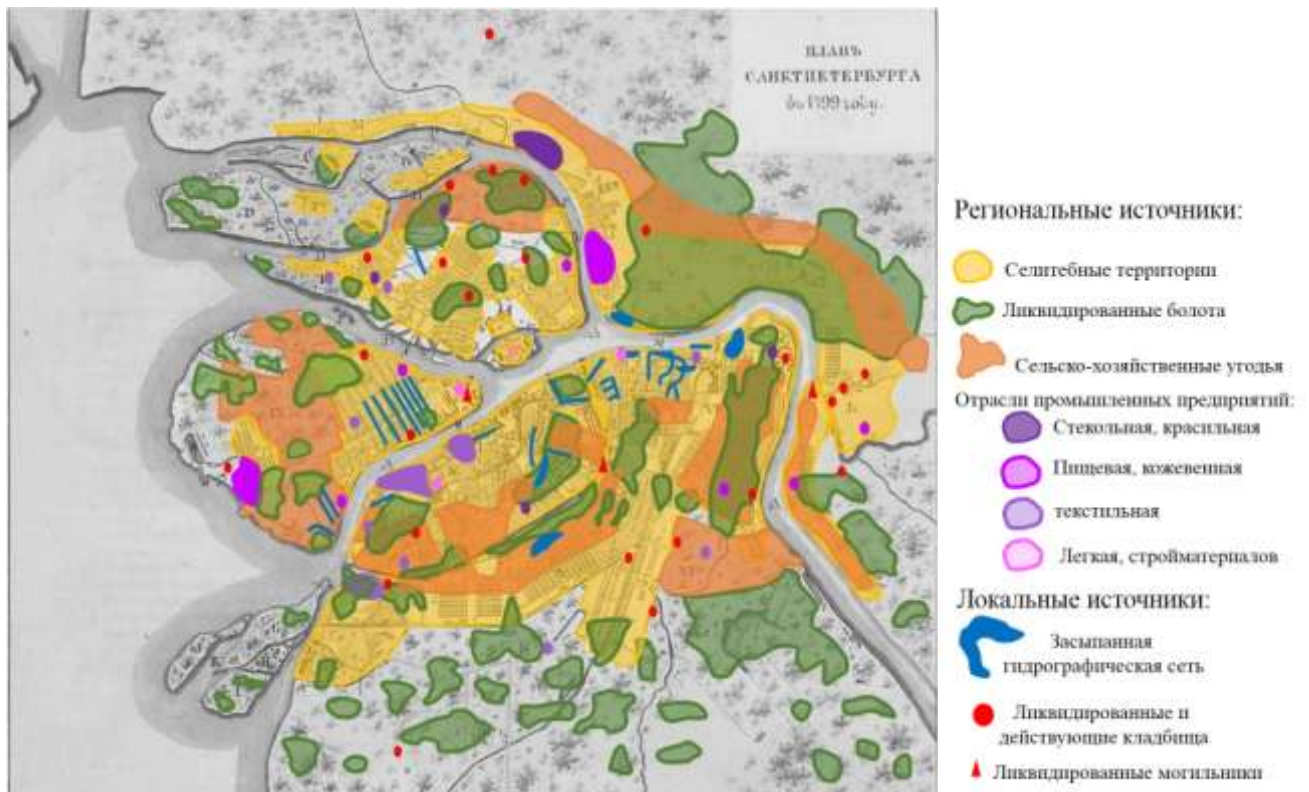


Рисунок 1.23 – Схематическая карта специфики контаминации территории Санкт-Петербурга в 18 веке
Масштаб – 1:150000

содержания органических и неорганических соединений, дополнительным привнесом микрофлоры.

Таблица 1.11 – Типовой состав производственных сточных вод [84, 127]

Отрасль Элементы	Пищевая (мясомолочная)	Сахаро- варение	Мыло- варение	Кожевен- ная	Текстиль- ная
Взвешенные вещества, мг/дм ³	350-2800	5027	1700	2810	220-400
СГ, мг/дм ³	150-550	127,8		2800	
жиры, мг/дм ³	100-1900		970	270	
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³		6400	1600	920	
БПК _{полн.} мгО ₂ /дм ³	1200-2400			1500	300-365
pH	6,3-7,6	5,7	12	10,5	6,8-11
Сухой остаток, мг/дм ³	1500-3000	7638	5000	6130	1450-1700
Азот общий, мг/дм ³	60-224	47,4	9	260	
Азот аммонийный, мг/дм ³	31	43,6		140	14-22
ХПК, мгО ₂ /дм ³	1400-3300	11180	2400	2700	700-850
фосфор мгО ₂ /дм ³	8-72	14,2	10		2-6
сульфаты мг/дм ³		341		1250	
сульфиды мг/дм ³				220	2-22
ПАВ мг/дм ³					50-120

Особую значимость в обогащении подземной среды органикой имеют отходы свеклосахарных предприятий, к которым относятся: газовые выбросы, в том числе и при сжигании топлива, выбросы пыли (известковая, жомовая), а также отходы производства, которые загрязняют подземную среду углеводами – легко утилизируемая питательная среда для подземной гетеротрофной микробиоты.

Кроме того, высокая концентрация мелких и крупных табачных фабрик на территории города сопровождалась накоплением большого количества отходов, основную долю которых занимает табачная пыль (около 87%), имеющая в своём составе до 50% минеральных примесей.

Известно, что табачная пыль увеличивает активность развития микробных сообществ разных таксономических групп: бактерий, грибов, актиномицетов. Исследования, проведенные на базе ГНУ ВНИИТТИ по влиянию табачной пыли на биологическую активность почвы, свидетельствуют об интенсивной

деятельности целлюлозоразлагающих бактерий, которые создают питательные вещества для других микробов (рисунок 1.25, 1.26). Стоит отметить, что табачная пыль может содержать в своём химическом составе до 7% углеводов [136].

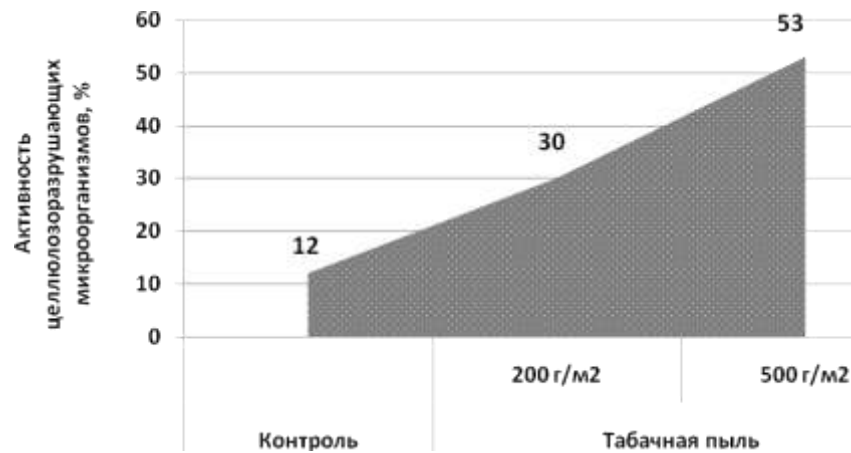


Рисунок 1.25 – Влияние табачной пыли на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов



Рисунок 1.26 – Скорость разложения клетчатки при внесении в питательную смесь различных доз табачной пыли

Кроме того, контаминации ПП способствуют отходы химических производств, красителей, дубильных веществ, а также смол. Органические вещества промышленных сточных вод при попадании в ПП подвергаются физико-химическим преобразованиям, в первую очередь, химическим и биохимическим процессам окисления, что способствует снижению содержания кислорода в подземных водах и величины E_h до нулевых и отрицательных значений. Подобное изменение окислительно-восстановительной обстановки

сопровождается изменением соотношения форм $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в сторону образования более растворимых и подвижных соединений двухвалентного (закисного) железа и снижению содержания цементирующих гидроксидных соединений Fe^{3+} .

Вместе с тем, поступление поллютантов органического происхождения с промышленными стоками обычно вызывает увеличение численности определённых групп микроорганизмов, часто биоценоза в целом, смене ролей основных и сопутствующих бактерий и/или образованию неизвестных штаммов, лучше приспособленных к новым условиям.

Действие растворов щелочи на песчано-глинистые грунты приводит к разрушению силикатов и образованию новых соединений, цементоподобных минералов, которые имеют большой объем по сравнению с исходными соединениями.

При действии кислоты на глинистую составляющую грунта происходит разрушение алюмосиликатного ядра по связям $\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Al} =$ с выходом из кристаллической решетки Al^{3+} и Fe^{3+} с последующим связыванием их анионом кислоты. Действие кислот на глинистые породы проявляется также в изменении их гранулометрического состава (уменьшение содержания глинистой фракции), снижение числа пластичности, плотности грунта и плотности его минеральной части. Новые соединения формируются в виде кристаллогидратов по 17-18 молекул воды на 1 молекулу соли [55].

20 век

По уровню негативного воздействия на состояние компонентов подземного пространства (ПП) следует выделить коммунально-бытовые стоки, которые способствовали высокой степени загрязнения водоносных горизонтов, водотоков, а также грунтов, что объяснялось отсутствием канализационной сети в течение почти 200 лет с момента основания города, а позднее - медленным ее строительством и вводом в эксплуатацию [64].

К 1918 году более трети территории города вообще не имела водостоков, а из 537 км существовавшей к тому времени уличной сети 70% (374 км) составляли

деревянные трубы; количество дворовых выгребов достигло 40000, а число выпусков сточных вод в реки и каналы возросло до 1000.

В 1925 году началось практическое осуществление схематического проекта раздельной канализации всего города и детального – для территории Васильевского острова. За 10 лет на Васильевском острове было построено 153,3 км канализационных уличных сетей, две насосные станции, выпуск в Невскую губу и переустроена дворовая канализация в 1239 домовладениях.

С 60-х гг. 20 века началась разработка новой Генеральной схемы канализации города, которая учитывала полученный ранее опыт строительства. Наиболее приемлемой была признана комбинированная система канализации – общесплавная (на 61% территории города) и полная раздельная (на 39% территории) в периферийных районах. При этом изменилась глубина заложения канализационной системы, которая проходила на глубине 10-20 метров.

На современном этапе развития города состояние канализационной системы в Санкт-Петербурге нельзя признать удовлетворительным. Город до сих пор не канализован полностью. Существующая канализационная сеть требует ремонта и обновления - около 50% трубопроводов находится в аварийном состоянии, отмечаются постоянные утечки стоков.

Следует отметить, что канализационные стоки характеризуются достаточно стабильным и специфическим составом. Относительное содержание органического вещества составляет 58%, неорганического - 42%. Взвешенный материал хозяйственно-бытовых стоков представляет собой неустойчивую полидисперсную систему, частицы которой по своим размерам колеблются от грубых до высокодисперсных, имеющую относительно постоянный состав (рисунок 1.27): а) взвешенные вещества в виде крупной взвеси (частицы песка и пыли); б) суспензии, эмульсии и пены (до 0,1 мкм); в) тонкодисперсные частицы диаметром от 0,1 до 0,001 мкм, составляющие 40% от всех взвешенных веществ, которые могут иметь растительное и животное происхождение, а также неорганические (песчаные, глинистые частицы и др.) [59]. Кроме того, в 1 л канализационных стоков

содержится 10^{10} - 10^{11} клеток микроорганизмов. Причем более 90% микробиоты относится к полезной микрофлоре, менее 10% к патогенным формам и вирусам.

Загрязнение подземных вод коммунальными стоками наблюдается за счет увеличения соединений азота, серы, фосфора, калия, натрия и органических веществ (белки, липиды, углеводы) в грунтовых водах отмечаются, в основном, анаэробные условия. При нисходящей фильтрации грунтовых вод компоненты хозяйственно-бытовых стоков и их микрофлора способны проникать в более глубокие водоносные горизонты через «гидрогеологические» окна и относительные водоупоры при соответствующем гидродинамическом режиме, создающем условия перетекания грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты.

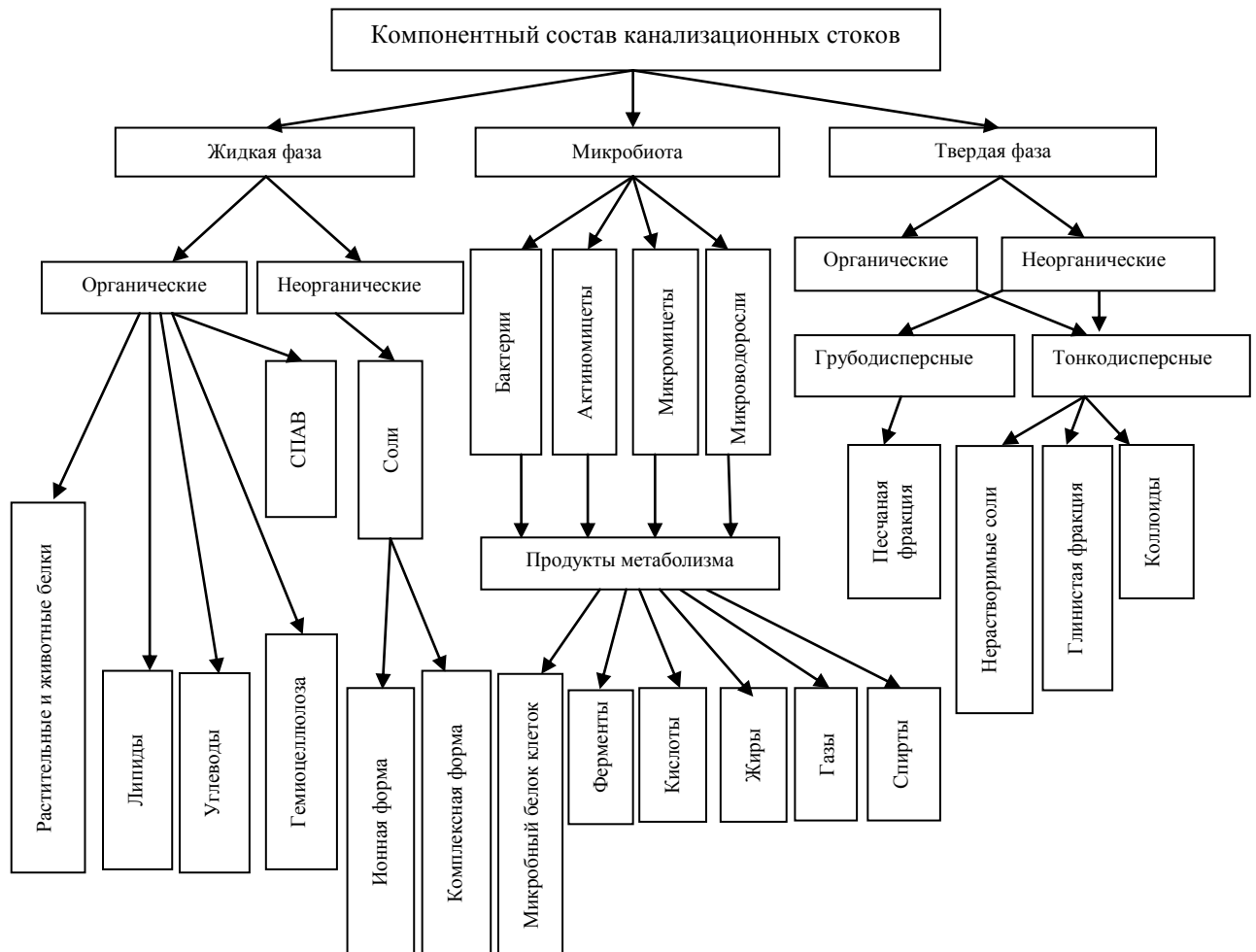


Рисунок 1.27 – Компонентный состав канализационных стоков

Утечки из систем водоотведения радикально влияют на состояние и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов, развитие опасных процессов в

подземной среде и снижают несущую способность грунтов в основании сооружений. Ниже приведен осредненный химический состав грунтовых вод вблизи зон утечек из систем водоотведения (таблица 1.12, столбец 1) и состав неразбавленных стоков (таблица 1.12, столбец 2).

Таблица 1.12 – Химический состав канализационных стоков [59]

№ п/п	Показатели	1	2
		Численные значения	
1	2	3	4
1	pH, ед. pH	7,2-7,6	6,7
2	БПК₅ , мгО ₂ /дм ³	120-280(200*)	9012
3	ХПК , мгО ₂ /дм ³	420 (350)	18928
4	Перманганатная окисляемость , мгО ₂ /дм ³	35-120	11335
5	Взвешенные вещества, мг/дм ³	300-416 (200)	5154
6	Гидрокарбонаты, мг/дм ³	-	859,0
5	Азот аммонийный, мг/дм ³	60-130	(19-60)
7	Нитраты, мг/дм ³	-	
8	Нитриты, мг/дм ³	-	
9	Сульфаты, мг/дм ³	-	<2,0
10	Хлориды, мг/дм ³	70-90	251,0
11	Фосфаты, мг/дм ³	12,5-16,0	35,4
12	Сероводород, мг/дм ³	-	1,3
13	Железо общее, мг/дм ³	-	18,5
14	Кальций, мг/дм ³	-	117,9
15	Магний, мг/дм ³	-	30,6
16	Натрий, мг/дм ³	-	154,5
17	Калий, мг/дм ³	25,0	8,4

Примечание: * - принятые средние значения для неочищенных хозяйственно-бытовых вод; значения содержаний соединений азота приведены в пересчете на азот.

1 – химический состав грунтовых вод при их длительном загрязнении канализационными стоками;

2 – состав концентрированных стоков

В составе техногенных факторов, определяющих преобразование компонентов подземного пространства мегаполисов, важную роль играет контаминация подземной среды нефтепродуктами. При взаимодействии нефтяных углеводородов с толщей пород происходит их преобразование в результате химического окисления и биохимической деструкции при участии различных форм микроорганизмов (рисунок 1.28) [104].

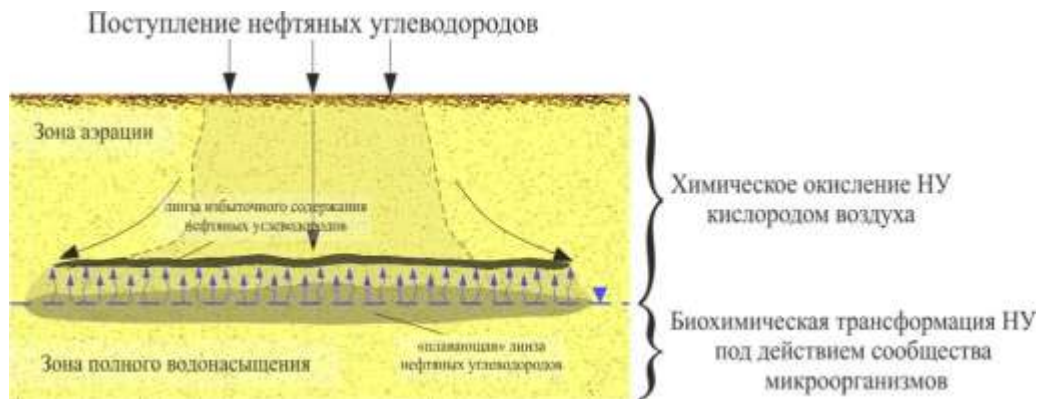


Рисунок 1.28 – Схема основных процессов преобразования нефтяных углеводородов, поступающих в подземное пространство [104]

Поступление нефтяных углеводородов в толщу грунтов сопровождается их сорбцией на минеральных и органических частицах. Повышению сорбционной способности дисперсных грунтов по отношению к НУ способствует наличие в их составе органической составляющей, особенно при содержании $C_{\text{орг}} \geq 1,2\%$. Большое влияние на сорбционную способность песчано-глинистых грунтов оказывает их влажность, по мере повышения которой их способность к сорбции снижается.

Поступление НУ в подземные воды изменяет направленность окислительно-восстановительных реакций – значения окислительно-восстановительного потенциала снижаются до -350 мВ, а кислотнo-щелочного потенциала (рН) – до 4 и менее.

Исследования кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета под руководством проф. Дашко Р.Э. водонасыщенных песчаных грунтов, содержащих в своем составе НУ, показали, что среднезернистые песчаные разности перешли в пески с преобладанием в их составе мелко- и тонкозернистых фракций. В песках повысилась водоудерживающая способность ($w_{\text{мм}} = 0,19$ д.е.), снизилась водопроницаемость ($k \leq 0,4$ м/сут) и уменьшились значения угла внутреннего трения (≤ 12 град.). По результатам работ было установлено, что при содержании микробной массы более $50 \div 60$ мкг/г водоотдача средне- и мелкозернистых песков снижается до нулевых значений, а также водонасыщенные пески переходят в неустойчивое состояние.

Выполненные экспериментальные исследования состава, состояния и физико-механических свойств водонасыщенных глинистых грунтов при их

контаминации нефтепродуктами позволили выявить следующие закономерности: низкие значения модуля общей деформации и сопротивления сдвигу по сравнению с инженерно-геологическими характеристиками на незагрязненных территориях, пластический характер деформирования и разрушения. Особенно большое воздействие углеводородное загрязнение оказывает на озерно-ледниковые и моренные отложения.

Следует отметить, что в этот период интенсивность влияния проток на подстилающую грунтовую толщу определяется их водосбросом, величина которого прямо пропорциональна водопотреблению промышленных предприятий, выраженному в м³/сутки на 1 га площади (удельный расход воды). Эта характеристика зависит от отрасли промышленности. В соответствии с данными таблицы 1.13 находятся и величины инфильтрационных утечек для предприятий, имеющих наибольшие водопотребления.

Таблица 1.13 – Классификация предприятий по количеству потребляемой воды на единицу площади [55]

Группа предприятия	Отрасли промышленности предприятия	Система водоснабжения	Число систем коммуникаций		Удельный расход воды, м ³ /сутки на 1 га
			4-6	3-7	
А	Химическая, металлургическая	комбинированная	4-6	3-7	5000-15000
Б	Машиностроительная, станкостроительная, частично пищевая, трубопрокатные заводы	прямоточная, реже обратная	1-4	2-6	500-5000
В	Текстильная, легкая, стройматериалов, пищевая	прямоточная	1-3	1-3	50-500
Г	Элеваторы, мукомольные заводы и пр.	прямоточная	1	1	5

Эксперименты по влиянию загрязнения органическими и неорганическими поллютантами стоков на изменение состава, состояния и свойств песчано-глинистых грунтов проводились в основании пивоваренного завода «Балтика». На этом предприятии сточные воды в жидкой фазе содержат дрожжевые культуры и

углеводы, что определяет высокие величины ХПК и БПК₅, которые составили соответственно 498 мгО₂/дм³ и 713 мгО₂/дм³. По результатам экспериментальных исследований были определены величины коэффициента фильтрации мелкозернистых песков, которые варьировали в зависимости от содержания ММ (рисунок 1.29). При увеличении количества микробной массы почти в 1,5 раза, коэффициент фильтрации снизился на порядок, угол внутреннего трения уменьшился в 2 раза при небольшом возрастании сцепления [69].

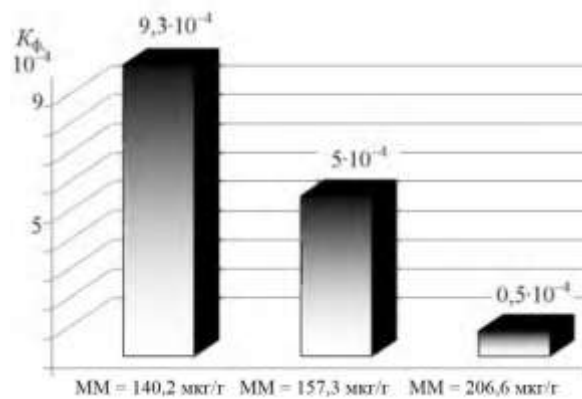


Рисунок 1.29 – Изменение коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) мелко- и среднезернистых песков в основании цеха пивоваренного завода «Балтика» в зависимости от величины микробной массы (ММ)

Анализ исторического аспекта развития территории в 18-21 вв. позволил выделить вышеназванные источники контаминации регионального и локального характера (канализационные стоки, преимущественно легкоокисляемые в химических и биохимических процессах, жидкая фаза свалочных масс с высокой концентрацией органических веществ, а также нефтяные углеводороды, содержащие трудноокисляемые органические соединения, в сочетании с воздействием погребённых болотных отложений), которые формируют высокий уровень и специфику загрязнения подземного пространства города, что, в свою очередь, является наиболее значимым фактором изменения физико-химических и биохимических условий подземной среды (рисунок 1.30).

О значительной техногенной трансформации и мозаичной контаминации грунтовых вод свидетельствует опробование сети режимных скважин в течение нескольких лет, расположенных на территории Санкт-Петербурга (таблица 1.14).

Анализ химического состава грунтовых вод отличается достаточным разнообразием. Наряду с гидрокарбонатными водами, присутствуют гидрокарбонатно-хлоридные (Адмиралтейский остров, скв. 2123 Казанский остров, скв. 71353 и др.), хлоридно-гидрокарбонатные (В.О., скв. 2278; Безымянный остров, скв. 2141 и др.), гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные (Безымянный остров, скв. 2030); гидрокарбонатно-сульфатные (В.О., скв. 2514; Петроградский остров, скв. 2137) и другие типы грунтовых вод с высоким содержанием загрязняющих компонентов. В грунтовых водах фиксируются высокие содержания хлоридов – до 710 и 780 мг/дм³ (на Адмиралтейском и Казанском островах, соответственно). Следует отметить более низкое, в среднем, по сравнению с хлоридами содержание сульфатов: часть соединений серы присутствует в восстановленных и частично восстановленных формах, однако при использовании традиционных методов опробования и определения химического состава вод такие формы не определяются. На локальных участках в пределах крупных островов (Васильевский, Петроградский и др.) вблизи промышленных зон и свалок смешанного характера содержание сульфатов превышает концентрацию хлоридов и достигает максимального значения 205,0 мг/ дм³.

Представленная специфика химического состава грунтовых вод является отражением не только загрязнения за счет различных источников контаминации, но и интенсивного разрушения материалов подземных конструкций при растворении и выщелачивании бута известняка и растворов кирпичной кладки фундаментов старинных зданий, а также цементных минералов бетонов, которые широко используются при реставрации. Прогрессивное разрушение материалов фундаментов подтверждается высоким содержанием щелочноземельных элементов (Ca^{2+} и Mg^{2+}). Значения ионов кальция превышает 100 мг/дм³, в некоторых случаях достигает 248 мг/дм³ (Васильевский остров, скважина в районе третьего корпуса Горного университета) при обязательном повышении содержания магния.

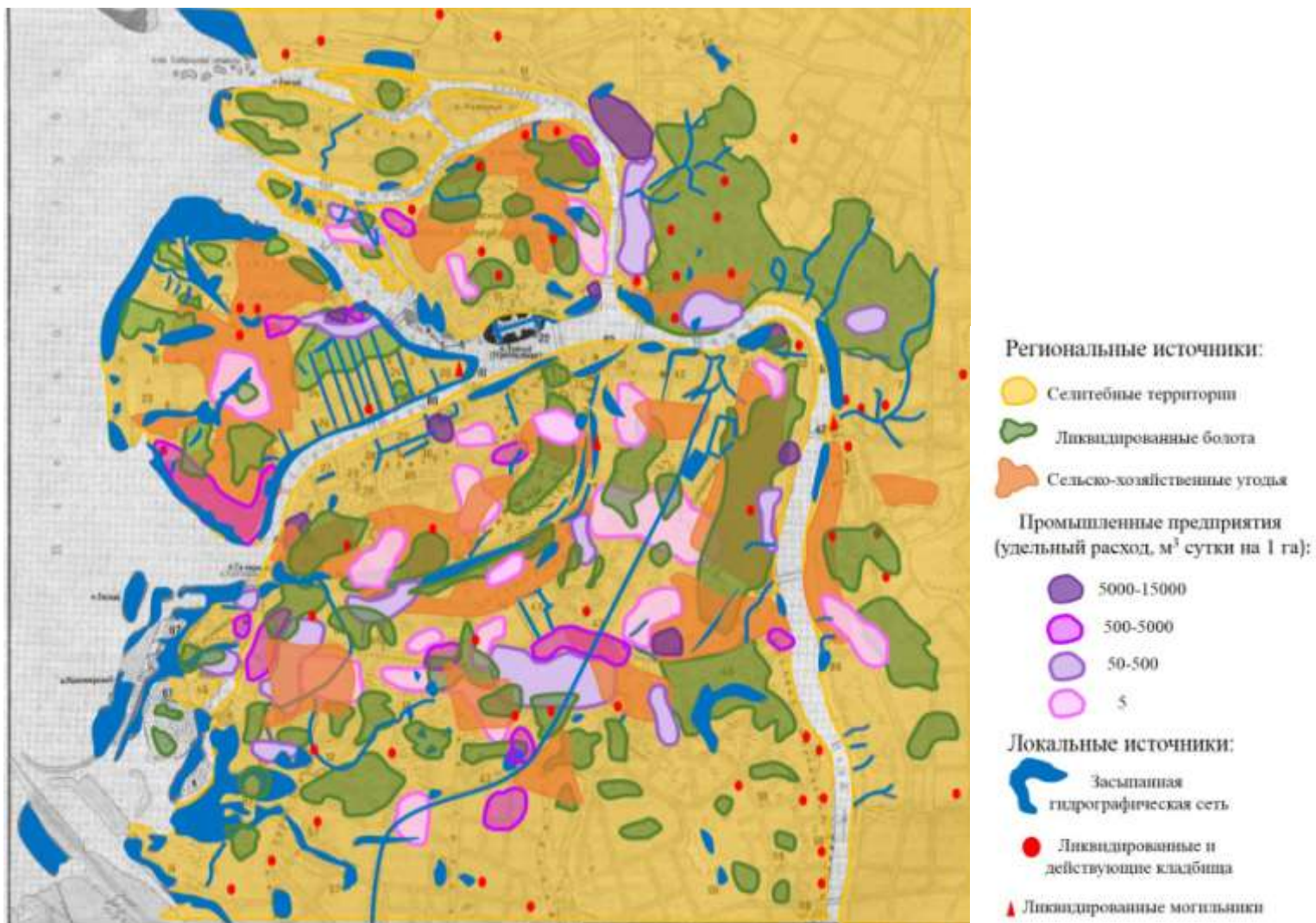


Рисунок 1.30 – Схематическая карта специфики контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга в 20 веке
 Масштаб – 1:100000

Таблица 1.14 – Результаты гидрохимического опробования грунтовых вод (по данным конца 20 – начала 21 вв.)

Элементы анализа	Расположение и номера режимных скважин									
	2512	2278	2514	2137	2180	2030	2141	2501	2123	71353*
	Наименование островов									
	Васильевский			Петроград-ский	Коломен-ский	Безымянный		Заячий	Адмирал-тейский	Казанский
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ca ²⁺ , мг/дм ³	100,0	26,0	80,0	60,0	84,0	101,0	130,0	100,0	80,0	248,2
Mg ²⁺ , мг/дм ³	61,2	45,6	51,6	26,4	33,6	32,4	39,6	66,0	43,2	126,5
K ⁺ +Na ⁺ , мг/дм ³	4,94	4,54	0	1,17	3,06	462,3	8,55	1,89	434,7	301,3
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	7,2	20,4	0,52	0,29	6,2	3,4	2,9	2,9	1,39	1,50
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	6,0	9,0	53,0	55,0	14,0	205,5	21,9	2,0	24,6	38,4
Cl ⁻ , мг/дм ³	100,0	80,0	35,0	40,0	70,0	531,0	110,0	30,0	709,6	775,6
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	738,1	439,2	378,2	250,1	475,8	549,0	902,8	396,5	366,0	811,5
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	1,3	2,3	1,0	25,5	1,3	отс	0,8	0,9	отс	сл
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,103	0,0003	0,577	0,06	0,003	0,500	0,057	0,074	0,100	сл
Минерализация, мг/дм ³	1019,5	633,7	601,5	458,57	688,31	1890	1222,7	604,11	1679,6	2303,3
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	12,1	7,2	8,3	5,2	7,8	8,1	14,8	6,5	7,6	63,8
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³	10,1	5,1	6,2	4,1	7,0	Не опр	9,8	5,5	Не опр	Не опр
Жесткость некарбонатная, мг-экв/дм ³	2,0	2,1	1,0	1,1	0,8	Не опр	5,0	1,0	Не опр	Не опр
Fe ²⁺ +Fe ³⁺ , мг/дм ³	0,75	6,7	1,6	1,05	0,35	4,9	2,27	3,85	20,0	0,0
Окисляемость перманганатная, мгO ₂ /дм ³	25,6	32,0	16,0	14,08	32,0	56,0	20,0	16,0	112,2	Не опр
ХПК, мгO ₂ /дм ³	97,0	77,6	77,6	116,4	67,9	Не опр	58,2	46,6	Не опр	Не опр
БПК ₅ , мгO ₂ /дм ³	4,5	11,2	3,5	7,0	3,0	Не опр	3,2	2,8	Не опр	Не опр
CO ₂ агрес, мг/дм ³	Не опр	-	11,0	6,6	11,0	4,4	4,4	19,8	22,0	15,4
H ₂ S, мг/дм ³	Не опр	-	Не опр	Не опр	Не опр	Не опр	0,75	0,05	Не опр	Не опр

Продолжение таблицы 1.14										
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,49	0,086	0,047	0,034	0,02	Не опр	0,02	0,093	Не опр	Не опр
pH*	7,08	7,08	7,22	7,84	7,43	7,27	7,24	7,44	7,23	
Eh*, mV	1,2	3,4	-3,1	-39,2	-15,2		-2,7	-13,8		
Уровень грунтовых вод, м	2,94	2,29	1,28	1,32	1,91		2,30	2,51		

Примечание: 1 - ул. Кораблестроителей 19 (болото, с/х угодья, засыпанный водоем), 2 - Малый пр. 49 (с/х угодья, кладбище, промышленная зона), 3- Университет (засыпанный канал, жилая зона), 4 - наб. р. Карповки 25 (с/х угодья, ликвидированное болото, засыпанный канал), 5 - ул. Писарева 3 (засыпанный водоем), 6 - ул. Тульская (с/х угодья, засыпанное болото), 7 - ул. Смольного 2 (ликвидированный канал и болотный массив, промышленная зона), 8 - Комендантское кладбище (кладбище, засыпанный канал), 9 - наб. Лебяжьей Канавки (засыпанное болото)

Обязательными компонентами грунтовых вод центральной части города служат аммоний и органические вещества, поступающие из несовершенной канализационной сети и захороненных свалок.

Максимальное содержание иона аммония было зафиксировано в зоне влияния утечек канализационных стоков и погребенных свалок на Васильевском острове (Малый пр.) - до 20,4 мг/дм³. Ион NH₄⁺ относится к отрицательно гидратирующим, вызывает усиление подвижности поровой воды в грунтовой толще и, кроме того, должен рассматриваться как ион-диспергатор, повышающий содержание тонкодисперсных фракций при разрушении агрегатов глинистых грунтов. Определение значений аммония необходимо производить непосредственно *in situ* (в скважинах и шурфах).

Повышенные значения органики по величине перманганатной и бихроматной окисляемости (ХПК), которые в ряде случаев превышают 110 мгО₂/дм³, приводят к снижению значений окислительно-восстановительного потенциала до отрицательных, что предопределяет формирование анаэробной среды.

Кроме того, высокое содержание величины БПК₅, выявленное в грунтовых водах, предполагает их высокую микробную пораженность аэробными формами биоты.

Как показали экспериментальные исследования, значение углекислоты варьирует в широких пределах (6,6-22,0 мг/дм³ и выше) в течение года, что доказывает изменение активности микробных процессов, поскольку диоксид углерода при высоких значениях в грунтовых водах рассматривается как продукт дыхания микроорганизмов. Значения рН (более 7,0) характеризуют грунтовые воды как нейтральные, что связано с лабораторными определениями, которые приводят к повышению данного показателя за счет изменения окислительно-восстановительной обстановки. В то время как замеры рН в полевых условиях показывают, что значение этого параметра на 2-3 единицы ниже, в связи с влиянием органического вещества.

Следует отметить, что минерализация грунтовых вод на загрязненных участках варьирует в широких пределах и обычно составляет более 1 г/дм^3 , в отдельных случаях может достигать 3 г/дм^3 и более (см. таблица 1.14). Наиболее высокие значения обнаруживаются в центральной и западной частях Васильевского острова (наличие кладбищ, промышленных предприятий, погребенных свалок, плохое состояние канализационной системы) - до $2,7 \text{ г/дм}^3$; на Казанском (погребенные торфяники, старая канализационная система, гаражные хозяйства) – до $2,3 \text{ г/дм}^3$; на Безымянном острове (ликвидированные каналы, действующие кладбища) – до $2,0-2,7 \text{ г/дм}^3$; на Адмиралтейском острове, в районе Марсова поля (погребенные гидросеть и болота; старая канализационная система, захороненная транспортная сеть) – $1,7 \text{ г/дм}^3$.

Необходимо отметить, что определение химического состава подземных вод должно выполняться с расширением диапазона параметров и элементов для анализа процессов, протекающих в подземных водах при их взаимодействии с подземными конструкциями, с учетом влияния не только агрессивности вод, декларируемой в нормативных документах, но и активности микробной деятельности, приводящей к генерации органических и неорганических кислот, и образованию биохимических газов: малорастворимых – азота, метана, водорода, хорошо растворимых: аммиак, сероводород и диоксид углерода (CO_2). При этом, H_2S способствует подкислению вод и агрессивен по отношению к цементам и металлам, H_2 повышает хрупкость металлов. Определения значений окислительно-восстановительного (Eh) и кислотности-щелочности (pH) параметров должны выполняться только в полевых условиях.

Анализ данных исследования химического состава грунтовых вод в зонах с различной степенью контаминации позволил установить наличие и содержание основных загрязняющих компонентов, максимальное присутствие которых зафиксировано на территориях, примыкающих к зонам снятых болотных отложений, промышленным объектам, кладбищам, участкам, вмещающим свалочные массы, а также в местах утечек из систем водоотведения.

Анализ материалов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на территории Санкт-Петербурга дает возможность подтвердить необходимость учета исторического аспекта и характера освоения территории для оценки уровня опасности освоения ПП и предупреждения аварийных и предаварийных ситуаций, а также обоснования проектов защитных конструкций, использование методов технической мелиорации (закрепления) грунтов, а также типов фундаментов. Особое внимание следует обратить на выбор конструкционных материалов и возможность их применения как защитных сооружений и несущих конструкций.

С целью обоснования принятой концепции учета истории использования территории в диссертационной работе выбран ключевой участок, приуроченный к аккумулятивному левому берегу р. Невы, известного в 18-19 вв. как «Пески» из-за особенностей геолого-литологического разреза – наличие мощной толщи песков.

Опыт освоения ПП при строительстве капитального сооружения – насосной станции 1-го подъема Водоканала, а также устройства гидроизоляционных конструкций на другом ответственном объекте служат убедительным примером негативного воздействия длительности контаминации подземной среды.

История освоения рассматриваемой территории насчитывает несколько сотен лет, начиная с 14 века (таблица 1.15). Так, согласно картографическим материалам здесь существовало около 50 различных поселений, в том числе самое крупное - село Спасское (см. раздел 1.2). С 1825 г. по 1882 гг. на этой территории находился лесопильный завод и крупное хранилище бревен и теса, что способствовало контаминации подземной среды различными формами микроорганизмов – целлюлозоразлагающими бактериями и микромицетами. В 20 веке, в период Второй мировой войны на данном участке располагалось хранилище горюче-смазочных материалов, функционирование которого способствовало загрязнению подземных вод и грунтов различными нефтепродуктами на значительную глубину и длительности их присутствия в водоносных горизонтах. Известно, что углеводороды приносят в подземную среду анаэробные формы микроорганизмов.

Необходимо добавить, что оценка экологического состояния подземной среды в пределах участка строительства не будет полной без учета природных факторов контаминации. Еще до освоения территория была заболочена, в результате чего в верхней части разреза накапливались отложения торфа и заторфованных грунтов, которые в процессе строительства были частично сняты либо засыпаны. Известно, что в торфах формируется богатый микробиоценоз, в составе которого преобладают анаэробные (сульфатредуцирующие, аммонифицирующие, метанобразующие бактерии, микромицеты и др.) и факультативные формы микроорганизмов численностью до 10^5 - 10^6 клеток на грамм.

Таблица 1.15 – 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 факультативные формы микроорганизмов численностью до 10^5 - 10^6 клеток на грамм
XIV–XVI вв.	Хозяйственно-бытовое загрязнение, село Спасское 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	
XIX в.	Строительство лесопильного завода и крупного хранилища бревен и теса	Контаминация подземной среды различными формами микроорганизмов – целлюлозоразлагающими бактериями и микромицетами
XX в.	Размещение хранилища горюче-смазочных материалов	Загрязнение подземных вод и грунтов различными нефтепродуктами на значительную глубину и длительности их присутствия в водоносных горизонтах. Нефтепродукты привносят в подземную среду анаэробные микроорганизмы
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.

Разрез территории «Песков» характеризуется наличием мощной толщи песчаных грунтов различного генезиса, гранулометрического состава, физического состояния и водопроницаемости (рисунок 1.31, таблица 1.16).

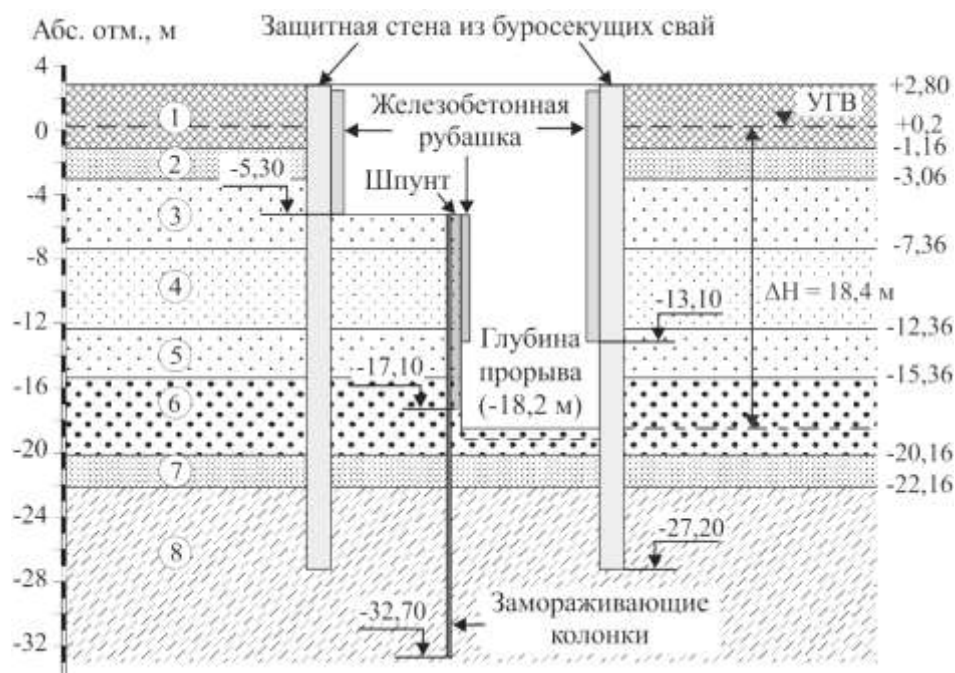


Рисунок 1.31 – Геолого-литологический разрез территории района «Песков» и расположение системы защитных конструкций при проходке глубокого котлована насосной станции в разрезе четвертичных отложений: 1 - насыпной грунт; 2 - песок пылеватый серый и коричневатый с гнездами, линзами и прослоями торфа; 3- песок средней крупности коричневый; 4 - песок мелкий коричневатый; 5 - песок средней крупности коричневатый; 6 - песок гравелистый коричневатый с прослоями крупного песка; 7 - песок пылеватый светло-серый; 8 – супеси и суглинки пылевато-серые с прослоями песка с включениями гравия и гальки (до 5 %); УГВ – уровень грунтовых вод; ΔH – разница между уровнями подземных вод внутри и за пределами контура котлована

Суммарная мощность песчаной толщи составляет более 22-25 метров. Начиная с глубины 2,6 м от поверхности, песчаные грунты полностью водонасыщены и образуют единый горизонт безнапорных грунтовых вод, мощность которого достигает около 22 м. Подстилающим водупором для него служат ледниковые отложения, представленные преимущественно супесями пылеватыми пластичными с прослоями песка с включениями гравия и гальки (до 5 %), которые вскрыты скважинами на глубине около 25 м. Особо следует отметить наличие двухслойных техногенных образований, нижняя часть разреза которых содержит до 80% древесной щепы и опилок.

Таблица 1.16 – Показатели гранулометрического состава, водопроницаемости и прочности песков на участке строительства насосной станции

№ слоя	Описание грунтов	Содержание фракций, %				Коэффициент фильтрации*, м/сут	Угол внутреннего трения ϕ , град.
		> 2 мм	0,05-2 мм	0,002-0,05 мм	<0,002 мм		
1	насыпные грунты (пески разнозернистые)	12,2	61,6	23,3	2,9	4,61 - 8,49	15
2	песок пылеватый с гнездами, линзами и прослоями торфа	0,1	88,0	9,2	2,7	0,19 - 1,03	12
3	песок средний	-	98,4	1,3	0,3	4,87 - 5,41	18
4	песок мелкий	1,2	96,3	2,1	0,4	1,89 - 3,31	18
5	песок средний	0,3	98,2	0,9	0,6	5,18	22
6	песок гравелистый с прослоями крупного песка	27,4	69,7	0,6	-	10,13 - 13,41	24
7	песок пылеватый	н/д	н/д	н/д	н/д	0,09	н/д

Примечание: * - определения коэффициента фильтрации выполнялись в лабораторных условиях, которые показывают заниженные значения этого параметра. В условиях естественного залегания проницаемость песков гравелистых с прослоями крупного песка обычно в 1,5-2 раза выше, чем по лабораторным данным.

Несмотря на активный промывной режим до строительства Смольной набережной, отмечается интенсивная контаминация грунтовых вод, химический состав которых характеризуется наличием повышенной минерализации (1213,4-1678,1 мг/дм³) и содержанием легкоокисляемой органики (18,0-25,6 мгО₂/дм³), а также значительными концентрациями сульфатов (155,9-411,6 мг/дм³). При наличии высокой жесткости (35-49°), вызванной содержанием щелочноземельных элементов (Ca²⁺ и Mg²⁺), вода имеет достаточно низкие значения рН (таблица 1.17). Как показывает сравнительная оценка результатов замеров рН в полевых и лабораторных условиях при повышенном количестве органических соединений этот показатель *in situ* оказывается на 2-3 единицы ниже, что имеет принципиальное значение для оценки коррозионных процессов конструкционных материалов в подземной среде, а также предопределяет твердение бетонов. При величине перманганатной окисляемости > 15 мгО₂/дм³ в кислой среде, а также в присутствии следов нефтепродуктов бетоны не твердеют [46].

Таблица 1.17 – Химический состав подземных вод рассматриваемого участка

№ скважины (условный)	ул. Кавалергардская, 42 (глубина – 2,8 м)	800 м. восточнее от ул. Кавалергардская	ул. Кавалергардская, 42 (глубина – 3,4 м)
Компоненты анализа:			
HCO_3^- , мг/дм ³	787,1	763,9	676,1
CO_3^{2-} , мг/дм ³	отс.	отс.	отс.
Cl^- , мг/дм ³	69,8	29,5	78,6
SO_4^{2-} , мг/дм ³	411,6	356,7	155,9
NO_3^- , мг/дм ³	1,0	40,0	отс.
NO_2^- , мг/дм ³	отс.	отс.	отс.
Сумма анионов, мг/дм ³	1269,5	1190,1	910,6
Ca^{2+} , мг/дм ³	121,8	143,9	151,5
Mg^{2+} , мг/дм ³	127,0	129,6	62,0
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$, мг/дм ³	159,4	82,4	89,3
NH_4^+ , мг/дм ³	отс.	отс.	отс.
$\text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3}$, мг/дм ³	0,4	следы	11,6
Сумма катионов, мг/дм ³	408,6	355,9	302,8
Минерализация, мг/дм ³	1678,1	1546,0	1213,4
Сухой остаток, мг/дм ³	1284,6	1164,1	968,0
Окисляемость, мгО ₂ /дм ³	20,0	18,0	25,6
Гумус, мг/дм ³	12,9	11,6	16,52
Жесткость общая, град.	46,3	49,9	35,4
Жесткость карбонатная, град.	36,1	35,1	31,0
Углекислота агрессивная, мг/дм ³	7,0	1,1	6,2
pH, д.е.*	7,20	6,87	6,92

* - величина pH определена в лабораторных условиях

Следует отметить, что вода, отобранная на территории района «Песков», определялась на предмет микробного загрязнения с применением биохимического метода определения микробного белка Лоури, который обладает высокой чувствительностью. Однако определяемая величина микробной массы превышала максимальные значения калибровочной кривой (250 мг/л), что, в свою очередь, соответствует аномально высокому уровню микробного белка в воде (рисунок 1.32).

Одновременно использовались прямые методы определения различных групп микроорганизмов с помощью посевов. Следует отметить, что рост

микроорганизмов в чашках Петри был настолько активный, что не позволил идентифицировать их видовой состав.

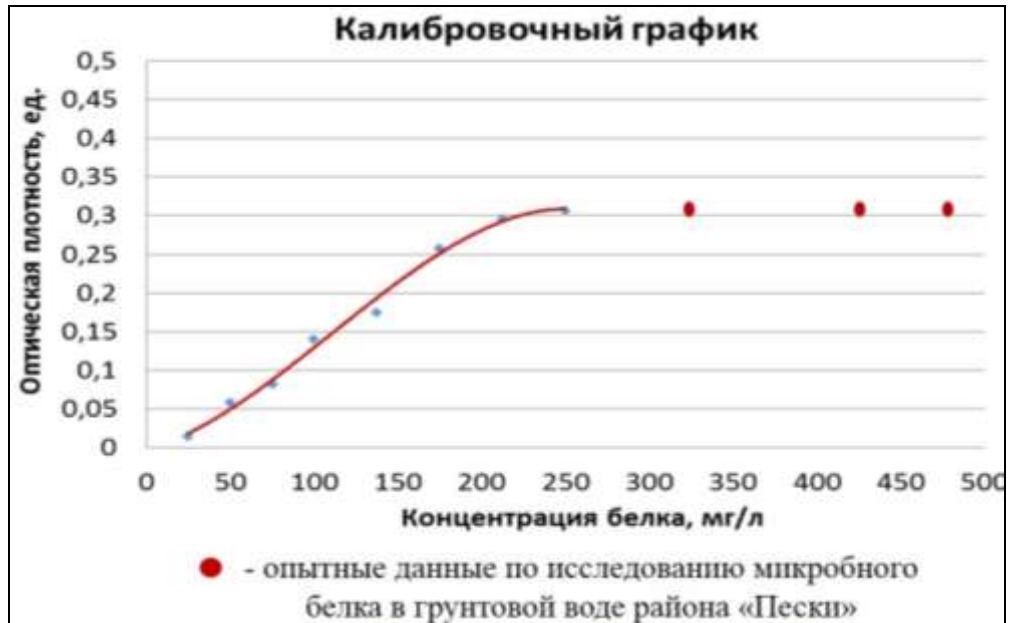


Рисунок 1.32 – Калибровочная кривая зависимости концентрации белка (мг/л) и оптической плотности (ед.) по методу Лоури

Пробы воды были изучены на молекулярно-генетическом уровне в ресурсном центре «Развитие клеточных и молекулярных технологий» СПбГУ. В результате метагеномного анализа было установлено соотношение основных групп бактерий, основную часть которых составляли протеобактерий (таблица 1.18).

Таблица 1.18 – Основные филы бактерий, выявленные в исследованной воде ключевого участка «Пески»

Таксоному (крупные филы)	Доля в пробе (%)
Actinobacteria	1,8
Bacteroidetes	2,6
Firmicutes	21,6
Proteobacteria	70,1

На родовом уровне выделяется род *Hydrogenophaga* (водородообразующие бактерии). Как показывают ранее проведенные исследования водородные бактерии выделяются в водах и грунтах, содержащих нефтяные углеводороды. В таких загрязненных средах обычно присутствуют *Pseudomonas* и *Clostridia*, что характерно и для грунтовых вод этого ключевого участка (таблица 1.19).

Поскольку в водоносном горизонте выявлены многочисленные группы микроорганизмов, которые формируют состав воды и ее коррозионную агрессивность, то вполне понятно, что в грунтах водоупора также развивается микробиота, накопление которой может происходить более активно, чем в песках, благодаря сорбционной способности глинистых грунтов (тяжёлая супесь и лёгкий суглинок). Следует отметить, что большая часть микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности сорбируется на минеральных частицах грунта, а в воде фиксируется от 6 до 10% микроорганизмов и их метаболитов.

Таблица 1.19 – Доминирующие виды бактерий, выявленные на территории района «Пески»

Таксономы (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

Защитные конструкции при проектировании котлована, глубиной 25,0 м не могли выполнять свои функции из-за специфики инженерно-геологических и гидрогеологических условий с учетом гидродинамического режима подземных вод и высокой степени контаминации водоносного горизонта, окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий (см. рисунок 1.31). Прорыв подземных вод произошел на глубине около 21,0 м и сопровождался выносом песка и обломков старой древесины с сажистыми образованиями темно-серого цвета. Взаимодействие этих соединений с кислотой привело к образованию сероводорода, что легко устанавливалось по специфическому запаху. Соответственно сажистые образования – минерал биохимического генезиса – гидротроилит ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), соединение, формирующееся в анаэробной среде при наличии Fe^{2+} и H_2S , который образуется в процессе деятельности

сульфатредуцирующих бактерий. Сероводород способствует подкислению грунтовых вод, снижая тем самым pH. Микробиологические исследования - посева древесины на питательные среды - выявили богатый биоценоз гетеротрофных анаэробных форм микроорганизмов, к числу которых относятся и сульфатредуцирующие бактерии. Наличие H_2S в воде снижает величину pH, подкисляя грунтовую воду, что замедляет процесс твердения бетона.

Таким образом, на участке строительства насосной станции специфические гидрохимические и биохимические условия препятствуют твердению бетона стены из буросекущих свай.

Для оценки условий, при которых произошел прорыв подземных вод, был выполнен расчет предельной величины напора по формуле В.А. Мироненко – В.М. Шестакова:

$$H_{\text{пр}} = \frac{m}{\gamma} \left(\gamma_n + \frac{2c}{b - \xi m \cdot \text{tg} \varphi} \right), \quad (1.1)$$

где m – мощность водозащитного целика, равная 8,7 м; γ_n – плотность грунтов водозащитного целика с учетом архимедовых сил, равный 1,16 т/м³; c – средневзвешенная величина сцепления равное 2,6 тс/м²; φ – угол внутреннего трения грунтов, град. (по таблице 1.16); ξ – коэффициент бокового давления, равный 0,49; b – ширина зоны возможного прорыва, равная 5,3 м.

Расчет производился, исходя из условий пластического состояния бетона и при отсутствии ледогрунтового целика:

$$H_{\text{пр}} = \frac{8,7}{1} \cdot \left(1,16 + \frac{2 \cdot 2,6}{5,3 - 0,49 \cdot 8,7 \cdot 0,44} \right) = 10,09 + 1,51 = 11,6 \text{ м} \quad (1.2)$$

Предельно допустимая величина напора составила 11,6 м. В момент аварии величина действующего напора (18,4 м) превысила предельно допустимую величину на 60 %, что при отсутствии защитного ледогрунтового целика повлекло за собой формирование прорыва.

В условиях отсутствия твердения бетонов оградительной стенки не происходило также замораживания водонасыщенных песков при существующих гидродинамических условиях. Изучение данных термометрической скважины,

расположенной в непосредственной близости от участка прорыва, показало, что в течение всего периода замораживания на глубине около 21 м (абсолютная отметка -18,2 м) наблюдались положительные значения температуры грунтов (до +3 °С) по сравнению с величинами, измеренными в той же скважине на других глубинах (от -5 до -10 °С). Непосредственно в момент аварии температура грунтов в месте прорыва повысилась до +5 °С за счет подтока подземных вод, имеющих температуру от +7 до +10 °С*.

В таких условиях замерзание водонасыщенных песков с коэффициентами фильтрации 10-12 м/сут при рассольном способе замораживания не происходит.

Как известно, характер и интенсивность промерзания грунтов находятся в прямой зависимости от направления и скорости движения потока подземных вод, влияющего на тепловой режим в толще грунтов. Замораживанию подлежат грунты, в которых скорость фильтрации близка к нулю (застойный режим). Установлено, что при критической скорости фильтрации подземных вод - более 1,35 м/сут (по И.Д. Насонову) и 2 м/сут (по Л.К. Сильвестрову) - в области замораживания существенно увеличивается теплоприток, что препятствует образованию ледогрунтового ограждения. Расчет скорости фильтрации потока в пределах участка строительства, выполненный по известной формуле Дарси, показал, что она превышает критическую величину более чем в 20-30 раз и свидетельствует о невозможности замерзания водонасыщенных песков.

Следует отметить, что несколько позднее в непосредственной близости от участка строительства насосной станции (в пределах аккумулятивного берега р. Невы) проводились работы по устройству гидроизоляции фундаментов при реконструкции старинного здания с помощью бетонной стенки, которые также закончились разрушением этой защитной конструкции, что, как указано ранее, связано с высокой агрессивностью подземной среды и длительностью освоения рассматриваемой территории.

* Температура грунтовых вод в Санкт-Петербурге на глубинах вне зон отепляющего воздействия зданий и инженерных коммуникаций

1.5 Выводы по главе 1

1. На основании сбора и анализа большого числа литературных, фондовых и старинных картографических материалов (12-19 вв.) с привлечением результатов исследований археологов, проводившихся в конце 20- 21 вв., а также историков, географов, проанализирована длительная история освоения и использования территории будущего мегаполиса, начиная с доисторических времен после регрессии Литоринового моря и начала рождения р.Невы. Особенно внимательно рассмотрены вопросы хозяйственного освоения территории, начиная с 14-15 вв. в период существования Восточной Ингерманландии, а также шведских поселений, русских и финских сел. Составлена хронологическая последовательность характера использования различных зон, которая отражает специфику контаминации подземной среды в зависимости от направленности, продолжительности и особенностей различных отраслей промышленности, сельского хозяйства и др.

2. Подтверждено дополнительными исследованиями, что высокая загрязненность территории органическими соединениями и наличие болот вызывают негативную трансформацию компонентов подземной среды - песчано-глинистых грунтов, подземных вод, активизацию деятельности микробиоты по глубине разреза, формирование неустойчивых грунтов, биохимическую газогенерацию, что предопределяет агрессивность вод и грунтов по отношению к конструкционным материалам.

3. Отмечается, что компонентный состав грунтовых вод, физико-химические и кислотно-щелочные условия Санкт-Петербурга формируются в зависимости от приуроченности территории к зонам с различной степенью контаминации. Установлено, что в зоне функционирования свалок хозяйственно-бытового состава, а также в пределах размещения кладбищ в водах присутствуют значительные содержания иона хлора, соединений серы, азота, а также отмечаются высокие значения перманганатной и бихроматной окисляемости,

достигающих до нескольких сотен $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. Присутствие аэробной микрофлоры в подземных водах фиксируется показателем БПК₅.

4. Представлена серия построенных схематических карт интенсивности и длительности контаминации ПП с учетом природных и техногенных факторов, где показаны участки освоения дельтовой части Невы до 18 века, а также обозначена специфика контаминации территории города с 18 по 21 века, в том числе отмечены засыпанные водотоки, каналы различного назначения, ликвидированные кладбища, старинные могильники, промышленные предприятия.

5. Произведен анализ причин прорыва подземных вод при проходке глубокого котлована в центральной части города на территории района «Пески», интенсивное освоение которой началось еще в 14 веке. Особое внимание обращено на исторический аспект контаминации данного района и её влияния на негативное преобразование основных компонентов подземного пространства (грунтов, подземных вод, газов и микробиоты). При составлении проекта проходки котлована под защитой бетонной стены из буронабивных свай и создания ледогрунтового целика с помощью рассольного замораживания не были учтены высокий уровень контаминации подземной среды, прежде всего грунтовых вод, который повлек за собой медленное твердение бетонов и сохранение положительных температур в песках водоносного горизонта при его активном гидродинамическом режиме в процессе замораживания. На основе микробиологических исследований установлена роль сульфатредуцирующих микроорганизмов в повышении агрессивности подземной среды по отношению к строительным материалам, применяемым при строительстве ограждающих конструкций. В данном случае рассматривается воздействие сероводорода на подкисление подземных вод.

ГЛАВА 2 ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА

2.1 Преобразование химического состава, окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий подземных вод на территории островной и материковой части города

В теории и практике инженерно-геологических и гидрогеологических условий практически не уделяется внимание влиянию физико-химических условий на состояние и свойства песчано-глинистых грунтов, и связанной с ними устойчивости наземных и подземных сооружений. При этом, следует рассматривать два аспекта данной проблемы, а именно формирование окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий под воздействием природных и техногенных факторов, прежде всего контаминации компонентов подземной среды и влияние на состояние и свойства песчано-глинистых грунтов. Необходимо отметить, что почти 90% городской территории относится к зонам, где отсутствует доступ кислорода, в связи с наличием асфальтового покрытия, созданием экранов, а также с гидродинамическими условиями, формирующими застойным режим движения грунтовых вод.

Изменение физико-химических условий негативно влияет на трансформацию типа структурных связей в песчаных и глинистых грунтах, степень их дисперсности и соответственно гидрофильности, что способствует их переходу в более слабые и неустойчивые разности. Эти процессы преобразования грунтов не прогнозируются в действующих нормативных документах при рассмотрении проблемы длительной устойчивости сооружений различного назначения, особенно при строительстве и реконструкции старинных зданий и архитектурно-исторических памятников, хотя постепенное снижение прочности грунтов в их основании будет провоцировать нарастание осадок и их неравномерность в период эксплуатации сооружений различной группы капитальности.

Как уже указывалось ранее, подземное пространство необходимо рассматривать как пятикомпонентную систему с меняющимися физико-химическими условиями, преобразование которых происходит во времени и пространстве. Вместе с тем, специфику физико-химической обстановки определяют процессы окисления и восстановления [72, 73, 88, 97, 130, 131, 160, 172, 186, 194, 195]. Известно, что окисление сопровождается отдачей электронов, а восстановление – их присоединением. Таким образом, окислитель является акцептором, восстановитель – донором. Одновременное присутствие в воде нескольких окислительно-восстановительных систем приводит к установлению некоторого динамического равновесия, которое определяет окислительно-восстановительное состояние среды. Такое состояние зависит от характера, направленности окислительно-восстановительных взаимодействий элементов с переменной валентностью, спецификой химического и газового состава подземных вод, минеральной составляющей водовмещающих грунтов, а также большое влияние оказывает жизнедеятельность подземной микробиоты.

Окислительно-восстановительные реакции можно представить в виде уравнений:



где Ox – общее число окисленных, а Red – восстановленных неорганических и органических компонентов.

Возникновение электродвижущей силы (E) является характерной особенностью реакции при участии электронов. Мера индивидуального потенциала обратимого электрода (в равновесии) в стандартном состоянии, которое осуществляется при давлении в 1 атмосферу или 100 кПа (килопаскалей), температуре 25°C и активностях реагирующих веществ, равных единице. $E = E^0$, в электрохимии называется стандартным электродным потенциалом, обозначаемым E^0 . В физико-химии абсолютную величину E^0 вычисляют при помощи электродных потенциалов относительно стандартной окислительно-восстановительной системы водорода (H^+/H_2). Для этой системы установлен

водородный электрод (реакция $\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}$), величина которого в стандартных условиях принята равной нулю. Таким образом, окислительно-восстановительным потенциалом (Eh) называется измеренный потенциал окислительно-восстановительной реакции относительно стандартного водородного электрода (СВЭ). В данном параметре (Eh), символ h свидетельствует о том, что потенциал замерен относительно СВЭ. Эта величина рассматривается как электрическая мера преобразования свободной энергии реакций 2.1 и 2.2, представленных выше, а также как термодинамическая характеристика окислительно-восстановительных систем в растворе.

Характеристика окислительно-восстановительного потенциала (Eh) дается обычно в милливольтгах или в величинах rH_2 (логарифм величины давления молекулярного водорода, взятый с обратным знаком). Отрицательный окислительно-восстановительный потенциал означает низкое сродство к электронам, положительный – высокое сродство.

Окислительно-восстановительный потенциал рассчитывают с помощью уравнения Нернста:

$$Eh = E^0 + (RT/nF)\ln(a_{ox}/a_{red}) \quad (2.3),$$

где E^0 - стандартный потенциал рассматриваемой окислительно-восстановительной системы (измеренный при $a_{ox} = a_{red}$);

R – газовая постоянная ($R = 8,314$ Дж);

T – абсолютная температура, К;

n – количество отдаваемых или получаемых электронов в окислительно-восстановительном процессе;

F – постоянная Фарадея ($F = 96484,56$ Кл/моль);

a_{ox} – концентрация (активность) окисленной формы;

a_{red} – концентрация (активность) восстановленной формы.

Подставляя в уравнение известные данные и перейдя к десятичному логарифму, получим следующий вид уравнения для температуры 20°C:

$$Eh = E^0 + (0,059/n)\lg(a_{ox}/a_{red}) \quad (2.4).$$

Согласно представленному уравнению (2.4), окислительно-восстановительный потенциал определяется отношением активности окислителя и восстановителя. В том случае, если активности окислителя и восстановителя равны, то $a_{ox}/a_{red}=1$, следовательно, окислительно-восстановительный потенциал равен стандартному электродному потенциалу. Таким образом, чем меньше стандартный потенциал системы, тем более сильным восстановителем является восстановленная форма и тем более слабым окислителем – окисленная форма.

По данным современных исследований граница Eh подземных вод ограничена значениями (+860) – (-600) mV [73, 97, 192]. Согласно теоретическим представлениям окислительно-восстановительный потенциал подземных вод уменьшается с ростом pH, однако на самом деле в подземном пространстве все значительно сложнее. Следует отметить, что химические типы подземных вод характеризуются различными границами варьирования окислительно-восстановительного потенциала. Вместе с тем, в условиях интенсивного и длительного загрязнения подземных вод в подземном пространстве городов существует неоднозначная зависимость между величинами Eh и pH, что связано со сложным химическим составом, наличием органических соединений различного генезиса и окисленности и протеканием ряда биохимических процессов.

Как известно, кислотнo-щелочные условия среды определяются активностью ионов водорода, количественно выраженной величиной pH, которая равна по модулю и противоположна по знаку десятичному логарифму активности водородных ионов (в молях на один литр):

$$pH = -\lg [H^+] \quad (2.5).$$

Величина pH подземных вод варьирует в пределах от 0 до 12,5, но в основном составляет 6-8,5 [97, 98, 130]. Однако для Санкт-Петербурга эти значения имеют более широкий диапазон изменения, особенно, если они определяются в полевых условиях и во многом зависят от содержания органических веществ. В лабораторных условиях интервал изменения pH сужается до указанных выше значений. Причем низкие значения pH связаны с

влиянием болот, присутствием органических кислот биохимического генезиса, а также с наличием сероводорода, утечками из систем водоотведения. При этом можно наблюдать, что при высоком содержании щелочно-земельных элементов - Ca^{2+} и Mg^{2+} и повышенных величинах перманганатной окисляемости и химического потребления кислорода рН снижается до 4 и ниже.

Используя величину E_h при постоянном значении рН можно характеризовать окислительно-восстановительную обстановку. Вместе с тем, в качестве степени окислительно-восстановительного состояния подземных вод кроме E_h можно принимать во внимание индекс r_{H_2} . Эта величина определяет кислородно-водородное равновесие. Параметр рН среды показывает соотношение между H^+ и OH^- ионами, а r_{H_2} между H_2 и O_2 . Кроме того, r_{H_2} характеризует суммарное окислительно-восстановительное состояние, обусловленное не только концентрацией (парциальным давлением) кислорода и водорода, но и всеми присутствующими окислителями и восстановителями. Таким образом, r_{H_2} дает представление об окислительной или восстановительной способности сред для культивирования или других растворов. Преимущество этой величины перед потенциалом, выраженным в вольтах, заключается в том, что величина потенциала изменяется в зависимости от рН, а в индексе r_{H_2} рН входит как составная часть, которую определяют отдельно и учитывают при расчете.

Для расчета значения показателя r_{H_2} используется уравнение:

$$r_{\text{H}_2} = (2FE_h/2,303RT) + 2 \text{pH} = - \lg P(\text{H}_2) \quad (2.6),$$

где F – постоянная Фарадея ($F = 96485$ Кл/моль);

R – газовая постоянная ($R = 8,314$ Дж);

T – температура по абсолютной шкале (в К);

E_h – экспериментально измеряемое значение окислительно-восстановительного потенциала в воде в В;

рН – водородный показатель;

$P(\text{H}_2)$ – парциальное давление водорода в окислительно-восстановительной системе.

Если принять температуру равной 20°C, то, учитывая значение констант, получим следующее уравнение:

$$rH_2 = Eh/0,029 + 2 pH \quad (2.7);$$

Как видно из формул (2.6) и (2.7), показатель rH_2 связан с окислительно-восстановительным потенциалом и учитывает влияние на него кислотности воды. Для определения значения rH_2 необходимо определить Eh и pH, как уже указывалось ранее. Считается, что шкала rH_2 изменяется в пределах от 0 до 42 и предопределяет все степени восстановленной или окисленной среды: от насыщения ее кислородом до насыщения водородом.

Следовательно, чем меньше rH_2 , тем больше восстанавливающая способность среды. Согласно данным С.И. Кузнецова границу между окисленными и восстановленными зонами следует проводить при значении rH_2 от 17 до 18 [101, 141]. Ниже этих значений растворенный кислород в воде практически отсутствует и природная среда рассматривается как восстановительная (анаэробная). Результаты опробования подземных вод в пределах островов исторического центра города по скважинам режимной сети, а также выработкам, пройденным с целью дополнительных исследований состояния подземных вод и грунтов в разрезе основания ряда действующих, проектируемых и реконструируемых зданий, подтверждают существование восстановительных условий в обводненной толще разреза, о чем свидетельствует величина индекса rH_2 ($rH_2 < 17$) как по результатам лабораторных, так и полевых определений параметров Eh и pH (таблица 2.1).

При этом устанавливается следующая закономерность: чем меньше площадь острова, тем ниже величина окислительно - восстановительного потенциала. Так, например, отрицательные значения Eh отмечаются на Заячьем острове; на Адмиралтейском и Коломенском - в среднем Eh составляет - 60 mv; на крупных островах (Васильевском, Безымянном и др.) значение Eh варьирует в более широком диапазоне, что связано с существованием в их пределах разнообразных источников загрязнения (канализационная сеть, промышленные предприятия, захороненные свалки, кладбища и пр.), но в целом окислительно-

восстановительные условия характеризуются здесь более высокими величинами этого параметра.

Таблица 2.1 – Окислительно-восстановительные условия в подземном пространстве 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. Острова: I - Адмиралтейский; II - Коломенский; III - Васильевский, IV - Заячий, V - Петроградский, VI - Безымянный.

Как показывает сравнительная оценка результатов расчета rH₂, наиболее низкие значения характерны для грунтовых вод при замере Eh и pH в полевых условиях.

В толще водонасыщенных грунтов главным потенциалзадающим элементом является кислород (O₂), влияние которого проявляется в формировании высоких значений Eh. Связь между концентрациями O₂ и величиной Eh в водонасыщенной грунтовой толще выражается прямой функциональной зависимостью, в тоже время наличие сероводорода как показателя восстановительной среды дает отрицательные значения Eh [73, 186]. Сероводород присутствует повсеместно в верхней части разреза четвертичной толщи Санкт-Петербурга, а также в микулинских отложениях, содержащих битуминозную органику и богатый биоценоз гетеротрофных бактерий, которые генерируют образование газов: метана, диоксида углерода, азота, а при загрязнении подземной среды и сероводорода. На рисунке 2.1 показана область наиболее вероятного количества H₂S и соответствующие величины Eh. Свободный газообмен с атмосферой в пределах городской территории весьма затруднен либо отсутствует ввиду газонепроницаемого покрытия, прежде всего асфальта.

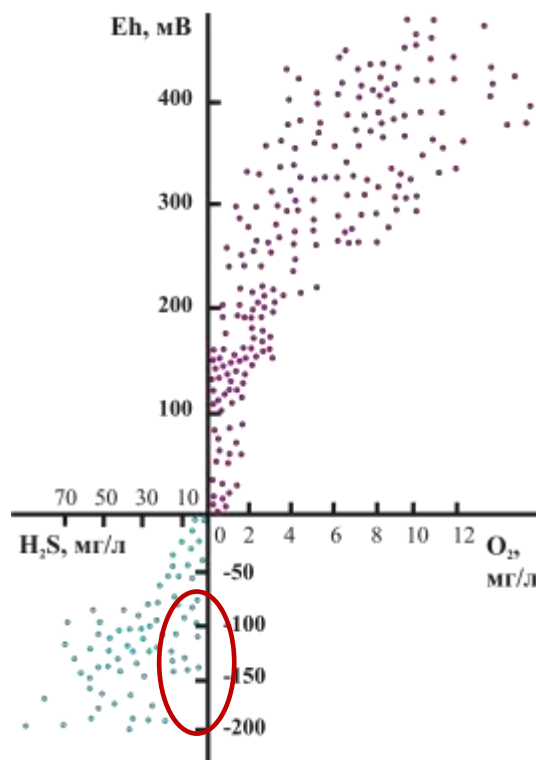


Рисунок 2.1 – Изменение окислительно-восстановительного потенциала подземных вод в зависимости от концентрации в них O_2 и H_2S (по В.П. Закутину и В.А. Щеке, 1992)

Важная потенциалзадающая роль отведена и соединениям серы, присутствие которой в подземном пространстве связано с длительным хозяйственным использованием территории в ретроспективном плане, канализационно-бытовыми и промышленными стоками, существованием многочисленных хозяйственно-бытовых свалок.

Восстановление сульфатов в природных условиях осуществляется только биохимическим путем за счет деятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые, как уже отмечалось, повсеместно присутствуют в подземном пространстве Санкт-Петербурга и выделяются при посевах, как в подземных водах, так и в водонасыщенных грунтах. Этот процесс выражается следующим уравнением:



Сульфатредуцирующие микроорганизмы активно образуют H_2S в диапазоне рН 4-10,5 и при температуре от 0 до 80°. В нейтральной среде сульфатредукция может идти при Eh от +50 до -400 мВ. При этом восстановительная среда является следствием генерации H_2S , а не его причиной. Известно, что наличие даже

небольших концентраций сероводорода (менее 10 мг/дм^3) сопровождается резким снижением Eh среды (до нуля и ниже) в водонасыщенных грунтах.

По результатам исследований Кузнецовой З.И. в водах, содержащих органику и соединения серы, сульфатредукция не была зафиксирована при содержании органического вещества менее 5 мг/дм^3 . Таким образом, присутствие торфяных прослоев и техногенной органики будет предопределять активное образование сероводорода и способствовать повышению роли системы серы в формировании окислительно-восстановительных условий в подземной среде.

Как известно, для всего разреза Северо-Запада РФ характерно присутствие соединений железа, что предопределено, прежде всего, наличием болот и заболоченных территорий.

Железо в пределах окислительно-восстановительного потенциала, характерного для природных вод, изменяет валентность, переходя из малорастворимой гидроокиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в закисную растворимую форму $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Вместе с тем, процессы восстановления или окисления железа значительно ускоряются благодаря жизнедеятельности микроорганизмов. Так, биохимическую трансформацию данного элемента производят железобактерии.

Генерация сероводорода в обводненных грунтах определяется также и гидродинамическим режимом.

Необходимо подчеркнуть, что формирование окислительно-восстановительных условий в большей степени зависит от специфики режима фильтрации подземных вод, которая определяется его скоростью. Согласно многочисленным материалам Закутина В.П. (1992) была установлена прямая зависимость между значениями Eh и K_{ϕ} грунтов (рисунок 2.2). Из приведенного рисунка следует, что формирование застойного режима ($K_{\phi} < 10^{-2} \text{ м/сут}$) сопровождается низкими величинами окислительно-восстановительного потенциала.

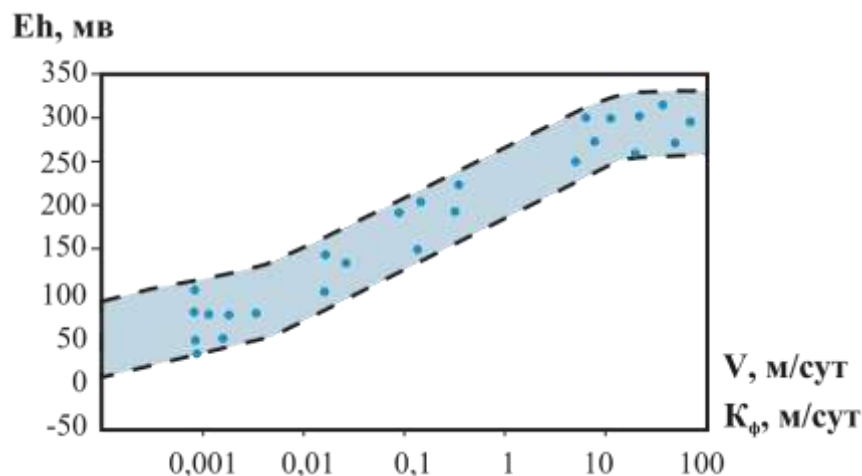


Рисунок 2.2 – Связь между движением подземных вод, коэффициентом фильтрации водонасыщенных грунтов и окислительно-восстановительным потенциалом (Закутин, 1992)

Окислительно-восстановительная обстановка претерпевает значительную трансформацию при наличии в разрезе природного органического вещества, хотя органика сама по себе не является потенциалзадающей системой. Содержащиеся в подземных водах и водонасыщенных породах органическое вещество в той или иной степени участвуют в био- и физико-химических процессах. «Сжигание» кислорода при окислении органики сопровождается уменьшением Eh-потенциала среды до отрицательных значений. Экспериментальные исследования А.К. Лисицина, Т.П. Поповой и др. (1978) показали, что в равновесном состоянии торфа и битуминозные вещества могут снизить окислительно-восстановительный потенциал взаимодействующих с ними растворов до -200 мВ и ниже.

Весьма важным фактором для формирования окислительно-восстановительных условий в подземном пространстве является наличие природного органического вещества и разнообразной микробиоты в подземном пространстве Санкт-Петербурга.

Следует отметить, что микроорганизмы, в частности бактерии (сульфатредуцирующие, водородобразующие, аммонифицирующие, денитрифицирующие и др.) в процессе жизнедеятельности преобразуют готовый органический субстрат и одновременно продуцируют вещества, обладающие выраженными восстановительными свойствами (H_2S , H_2 , Fe^{2+} , NH_3 и др.), что

служит дополнительным фактором снижения окислительно-восстановительного потенциала.

Таким образом, необходимость изучения формирования и изменения окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий необходима, прежде всего, с позиции их влияния на состояние и свойства дисперсных четвертичных грунтов в разрезе Санкт-Петербурга, в частности, перехода глинистых разностей в неустойчивое состояние, в первую очередь, при разрушении структурных связей. Уменьшение параметров сопротивления сдвигу будет способствовать снижению несущей способности грунтов и развитию неравномерных деформаций в основании зданий и сооружений различного назначения. Кроме того, специфические физико-химические условия определяют направленность коррозионных и биокоррозионных процессов, возможность развития аэробной или анаэробной коррозии конструкционных материалов. В восстановительной среде будут активно развиваться электрохимические процессы стальных конструкций, приводящие к утоньшению толщины трубопроводов и диаметра арматуры. Обычно электрохимическая коррозия протекает одновременно с биокоррозией, которая развивается за счет деятельности анаэробных микроорганизмов, в том числе железовосстанавливающих, сульфатредуцирующих и водородобразующих.

2.2 Результаты экспериментального изучения изменения состояния и сопротивления сдвигу некоторых генетических типов слабых песчано-глинистых грунтов

Для обеспечения длительной устойчивости сооружений различного назначения и, прежде всего, архитектурно-исторических памятников, исчерпавших свой эксплуатационный ресурс необходимо принимать во внимание специфику окислительно-восстановительных условий в водонасыщенных грунтах и водоносных горизонтах.

Как отмечалось ранее, поступление в подземную среду органических соединений природного и техногенного генезиса обеспечивает повсеместное формирование восстановительных условий с достаточно низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, что подтверждается замерами этого показателя в полевых условиях. В водоносных горизонтах четвертичной толщи величина $Eh < 0 \text{ mV}$, а в отдельных зонах его значение снижается до -100 mV и менее. Оценка окислительно-восстановительных условий в подземной среде не учитывается при специализированных инженерно-геологических исследованиях, а также в практике проектирования, строительства сооружений и оценке несущей способности грунтов и их коррозионной агрессивности. Однако изменение физико-химических и биохимических условий подземного пространства под влиянием природного и техногенного воздействия, развитие микробиоты и накопление продуктов ее метаболизма наиболее негативно сказывается на показателях свойств дисперсных грунтов и их устойчивости в основании сооружения. Вместе с тем, эти условия имеют большое значение при оценке коррозионности среды по отношению к бетонам, черным металлам, а также возможности твердения бетонов при устройстве защитных сооружений в виде бетонных стенок, буронабивных свай и монолитных фундаментов.

Озерно-морские (литориновые) отложения

Особое внимание необходимо обратить на озерно-морские (литориновые) отложения, которые использовались в качестве основания для большинства старинных зданий и архитектурно-исторических памятников Санкт-Петербурга, а также служат вмещающей средой для подземных коммуникаций, в том числе систем водоотведения.

Литориновые отложения характеризуются повсеместным распространением в пределах исторического центра города, со значительным варьированием мощности слоев, что связано с условиями осадконакопления. Распространение озерно-морских отложений в пределах Санкт-Петербурга представлено на рисунке 2.3.

Литологически озерно-морские грунты в основном, представлены, песками и супесями, реже суглинками. Являясь отложениями теплых мелких бассейнов (моря, а позднее озер), они в значительной степени обогащены органическим веществом, содержание которого изменяется в широких пределах от 0,5 до 24% и выше, а также для этих разностей характерно присутствие прослоев торфа, особенно в верхней части разреза.

Таким образом, присутствие органических соединений природного генезиса обеспечило повсеместное формирование восстановительных условий с достаточно низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, что подтверждается замерами этого показателя в полевых условиях.

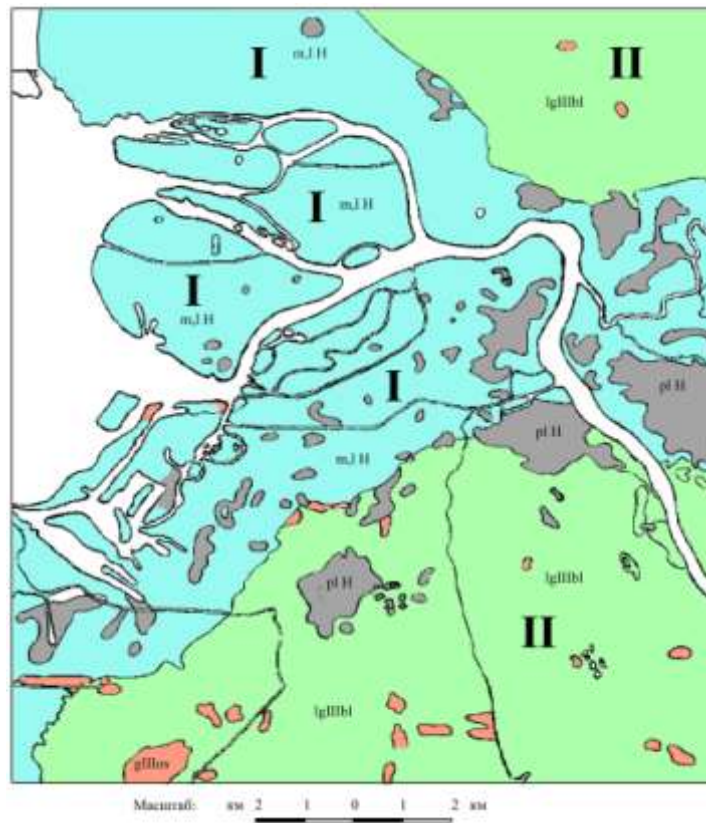


Рисунок 2.3 – Схематическая геолого-литологическая карта нижней (I) и верхней (II) Литориновой террасы: pl II – болотные отложения, ml II – озерно-морские литориновые отложения, lg III b1 – озерно-ледниковые отложения, g III os – моренные отложения

Однако, как показывает практика инженерно-геологических исследований, влиянию содержания органического вещества на состояние, физические, водные и механические свойства дисперсных грунтов не уделяется должного внимания.

Согласно актуализированной редакции ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация», песчаные и глинистые грунты по относительному содержанию органического вещества подразделяются на пять групп (таблица 2.2). Вместе с тем, проведенные исследования показывают, что изменения физических, водных и механических свойств песков, их деформационного поведения имеет место при значительно меньшем содержании хорошо разложившихся органических остатков.

Таблица 2.2 – Классификация песчано-глинистых грунтов по относительному содержанию органического вещества (I_r) согласно ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» [47]

Грунт	Относительное содержание органического вещества I_r , д.ед.	
	Пески	Глинистые грунты
С примесью торфа	0,03-0,10	0,05-0,10
Слабозаторфованный	0,10-0,25	
Среднезаторфованный	0,25-0,40	
Сильнозаторфованный	0,40-0,50	
Торф	>0,50	

Для литориновых отложений отмечается четкая тенденция снижения величины плотности и плотности скелета с ростом содержания органики (рисунок 2.4).

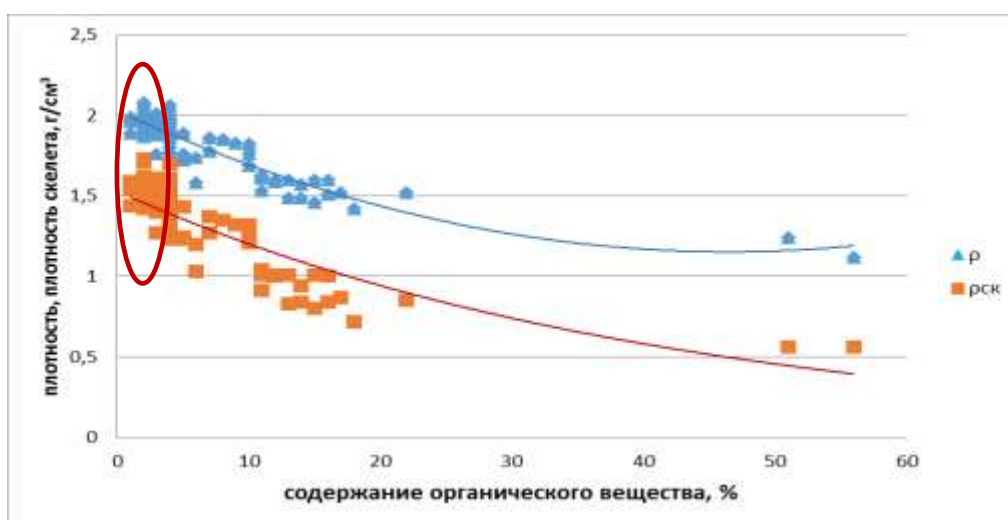


Рисунок 2.4 – Характер изменения содержания органического вещества в зависимости от плотности и плотности скелета озерно-морских отложений. Красным цветом выделена область, в которой содержание органики составляет менее 3%

Количество органического вещества определяет гидрофильность озерно-морских песков и соответственно их водоудерживающую способность, что также отражается на увеличении естественной влажности, максимальной молекулярной влагоемкости и снижении водоотдачи до нулевых значений (рисунок 2.5).

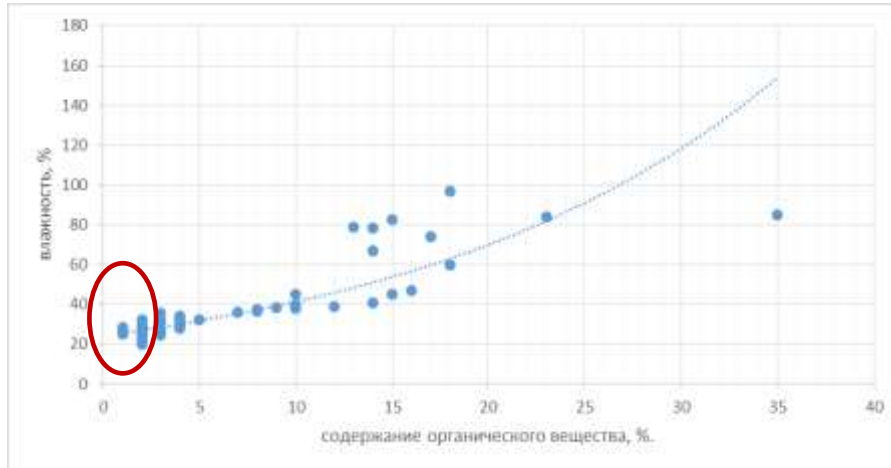


Рисунок 2.5 – Влияние содержания органической компоненты на величину влажности в озерно-морских песках. Красным цветом выделена область, в которой содержание органики составляет менее 3%

Подобные преобразования можно объяснить тем, что хорошо разложившейся торф при малой зольности содержит фракции размером менее 1μ , обладающие высокой удельной поверхностью и физико-химической активностью, что резко увеличивает гидрофильность дисперсных грунтов. Кроме того, наблюдается рост общего значения пористости, с одной стороны, и уменьшение абсолютного размера пор с другой, что сказывается на фильтрационной способности песков с органическим веществом даже при относительно невысоких его значениях.

Проведенные лабораторные эксперименты по внесению хорошо разложившегося торфа в тонко, мелко- и среднезернистые пески в количестве 0,5; 1; 2 и 3 %, свидетельствовали о снижении значений коэффициентов фильтрации, составляющих соответственно 3 и 1,8 м/сут для средне- и мелкозернистых песков соответственно, когда как при отсутствии в них органики коэффициенты фильтрации составили 10 и 8 м/сут (рисунок 2.6).

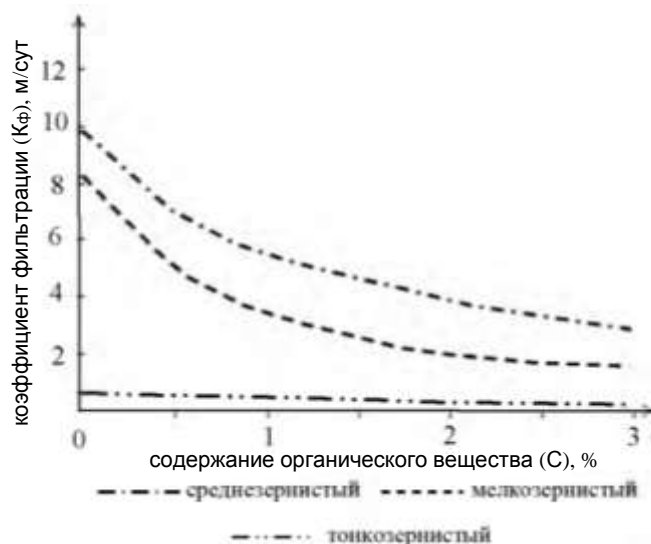


Рисунок 2.6 – Характер изменения коэффициента фильтрации K_f песков от содержания органики C

Следует отметить, что наименьшее значение водопроницаемости при увеличении органического вещества отмечено в тонкозернистых песках (уменьшение коэффициента фильтрации K_f в 2,2 раза), наибольшее (почти в 5 раз) наблюдается в среднезернистых песках. Вместе с тем, заметное уменьшение коэффициента фильтрации в 1,7-2,3 раза для мелко- и среднезернистых песков зафиксировано при содержании органического вещества в пределах 0,5-1 % соответственно.

Проведенные эксперименты подтверждают характер зависимости экспоненциального вида, установленной ранее проф. Р.Э. Дашко, между содержанием органической компоненты и коэффициентом фильтрации, которая была получена по результатам исследований литориновых песков в историческом центре Санкт-Петербурга, обладающих высокой микробной пораженностью [59]:

$$K_c = K_0 \exp[(-M \cdot C)] \quad (2.9),$$

где K_c - коэффициент фильтрации песка, м/сут отвечает содержанию органического вещества C , д.е.;

K_0 - коэффициент фильтрации песка при отсутствии органического вещества, м/сут;

М - эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического состава песка и составляющий 85, 60 и 31 соответственно для средне-, мелко- и тонко-зернистых песков.

Присутствие хорошо разложившегося органического вещества в песках формирует связность и способствует снижению угла внутреннего трения между частицами, переходу песка из категории несвязных отложений в категорию связных грунтов. В среднезернистых песках угол внутреннего трения (φ) снижается в 2,2 раза, в мелко- и тонкозернистых - в 1,9 и 1,8 раза соответственно по сравнению с величиной φ для песков того же состава, не содержащих органику. Мелко- и тонкозернистые пески характеризуются близкими значениями φ , поскольку величины их удельной поверхности сопоставимы. В тонкозернистых песках сцепление за счет содержания торфа увеличивается в 1,7 раза, в мелкозернистых - в 3,15 раза и в 5,25 раз - в среднезернистых песках (рисунок 2.7).

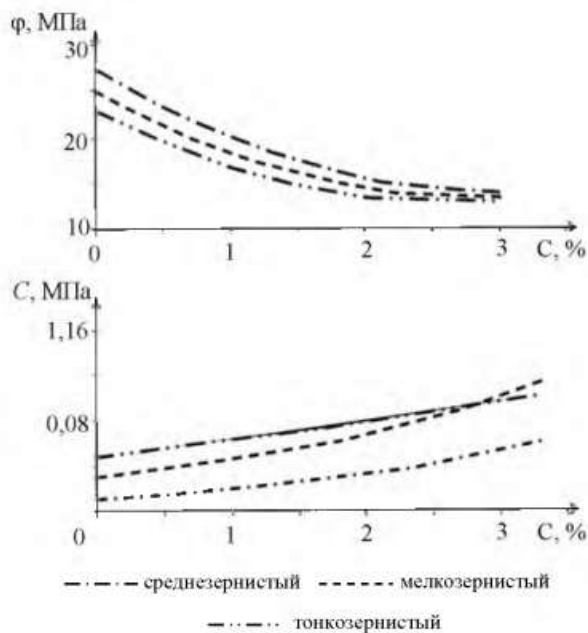


Рисунок 2.7 – Характер изменения сцепления (c , МПа) и угла внутреннего трения (φ) песков различного гранулометрического состава в зависимости от содержания органического вещества (C , %)

Увеличение количества органического вещества сопровождается постепенным снижением модуля общей деформации E_0 для песков различного гранулометрического состава, полученное по результатам компрессионных

испытаний, что связано с уменьшением плотности песков и развитием пластических деформаций (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Изменение величины модуля общей деформации песков в зависимости от содержания органического вещества [69]

№ п/п	Название породы	Содержание торфа, %	Модуль общей деформации в интервале давлений, МПа				Начальные значения плотности ρ_n (г/см ³) песков
			0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	
1	Песок среднезернистый	0	8,33	-	16,67	20,0	$\rho_n=1,90$
2		1	3,85	-	14,28	16,67	$\rho_n=1,89$
3		2	3,57	-	13,33	16,67	$\rho_n=1,87$
4		3	3,23	-	13,33	14,28	$\rho_n=1,81$
5	Песок мелкозернистый	0	8,93	14,7	16,67	25,0	$\rho_n=1,68$
6		0,5	7,35	9,62	12,5	14,3	$\rho_n=1,62$
7		1	5,43	5,68	7,70	14,3	$\rho_n=1,60$
8		2	3,52	5,81	7,70	12,5	$\rho_n=1,63$
9		3	1,92	4,39	6,25	-	$\rho_n=1,58$
10	Песок тонкозернистый	0	12,5	12,5	20,0	-	$\rho_n=1,51$
11		0,5	7,14	9,10	9,52	-	$\rho_n=1,53$
12		1	3,33	4,0	7,41	-	$\rho_n=1,44$
13		2	2,70	3,33	5,26	-	$\rho_n=1,40$

Примечание: Начальная влажность $W_n=15\%$

Согласно представленным данным, модуль общей деформации среднезернистого песка снизился в 3 раза в интервале 0-0,05 МПа, в 1,3 раза - в интервале 0,10-0,20 МПа, и в 1,4 раза - в интервале 0,20-0,30 МПа. В мелко- и тонкозернистых песках модуль общей деформации уменьшается в 2-3 и в 3-5 раз в аналогичных интервалах давления.

Таким образом, анализ исследований свидетельствует о том, что даже незначительное содержание органики негативно влияет на физико-механические и водные свойства песчаных отложений. Полученные данные предлагается использовать при совершенствовании существующих нормативных документов на проведение комплексных инженерно-геологических исследований при изучении подземного пространства Санкт-Петербурга.

Влияние органического вещества на послеледниковые глинистые отложения зависит от их гранулометрического состава. Установлено, что наибольшее воздействие органическое вещество оказывает на супесчаные грунты,

повышая в них содержание активной коллоидной фракции, и способствует снижению угла внутреннего трения до минимальных значений. Следует также учитывать и существование биопленок, поскольку литориновые отложения даже в условиях отсутствия загрязнения имеют высокую микробную пораженность, связанную с болотной микробиотой.

Озерно-ледниковые отложения

Инженерно-геологическая оценка озерно-ледниковых отложений, служащих основанием ряда старинных зданий, при их реконструкции должна проводиться с учетом возможных негативных изменений во времени, принимая во внимание трансформацию окислительно-восстановительных условий практически на всей территории центральных районов Санкт-Петербурга в условиях верхней Литориновой террасы. Ленточные отложения представляют собой в верхней части разреза четвертичной толщи Санкт-Петербурга своеобразный маркирующий горизонт.

Озерно-ледниковые отложения позднеледникового возраста - глины, суглинки, супеси, реже пески распространены практически повсеместно на территории города. Известно, что образование озерно-ледниковых отложений происходило в ледниковом бассейне, для которого характерны низкие температуры воды и малые концентрации растворенных веществ. По мере накопления осадков наблюдалось постепенное обмеление бассейна, что обусловило изменение текстурных элементов и гранулометрического состава этих отложений в разрезе. Они характеризуются малой степенью литификации и относятся к генетически слабым глинистым грунтам, мощность которых варьирует в широких пределах, достигая на Васильевском острове 20 м.

При мощности озерно-ледниковых отложений более 7-10 м можно выделить три зоны, различающиеся по содержанию глинистого материала и текстурным особенностям. В основании этой толщи обычно прослеживаются разнообразные гранулометрические типы отложений – от супесей до глин, имеющих массивную, неяснослоистую, реже слоистую текстуры и характеризующихся высоким содержанием пылеватых фракций (переход к мореным отложениям). Среднюю

часть разреза этих отложений слагают ленточные глины, текстура которых определяется чередованием глинистых, пылеватых и/или тонкопесчаных прослоев различной мощности.

Одной из специфических особенностей озерно-ледниковых отложений в целом является их высокая пылеватость (таблица 2.4). На северной и южной окраинах Санкт-Петербурга, являвшихся более мелководными зонами Балтийского ледникового озера, для озерно-ледниковых отложений характерно относительное понижение содержания глинистых частиц (5-15 %) и повышенное содержание песчаных (до 50 %). Для центральной и северо-западной частей города, как более глубоководной зоны ледникового озера, отмечается преобладание отложений с повышенным содержанием глинистой фракции.

Таблица 2.4 – Средний гранулометрический состав озерно-ледниковых глинистых отложений Балтийского ледникового озера (в %)

№ участка	Количество образцов	Размеры частиц, мм				
		>2,0	2,0-0,1	0,1-0,05	0,05-0,002	<0,002
1	48	2,3	20,0	18,1	54,8	4,8
2	26	-	2,0	20,4	62,2	15,4
3	34	0,1	3,7	13,9	60,0	22,3
4	91	0,1	1,7	8,3	62,1	27,8
5	52	сл	1,5	11,0	59,0	28,5
6	157	0,1	2,4	5,5	57,1	34,9
7	110	0,3	1,5	6,2	62,3	29,7
8	15	1,0	7,8	5,1	57,5	28,6
9	6	3,5	14,7	31,6	43,2	7,0
10	72	0,1	1,3	6,2	62,8	29,6
11	99	сл	2,2	7,6	64,9	25,3
12	42	-	1,3	6,5	64,8	27,4
13	68	сл	1,4	8,9	62,3	27,4
14	21	-	2,9	10,6	60,2	26,3
Всего	841	0,1	2,0	8,0	61,5	28,4

Изменчивость условий накопления осадков на протяжении существования приледникового бассейна предопределило неоднородность состава по вертикальному разрезу: обычно в средней части разреза озерно-ледниковых отложений содержание глинистой фракции возрастает до 60 % при их мощности более 5-6 м.

Обычно глинистые разности озерно-ледникового генезиса характеризуются как сильно- и неравномерно сжимаемые грунты, имеют низкую прочность и высокую способность к тиксотропным изменениям при динамических воздействиях. Наличие ленточной текстуры сказывается также и на анизотропии механических свойств, их неоднородности и изменчивости.

Следует отметить, что в разрезе города выделяется два типа озерно-ледниковых отложений. Первый тип разреза рассматривается в случае, когда озерно-ледниковые отложения существуют в условиях их приповерхностного залегания и достаточной аэрируемости на второй Литориновой террасе, что свидетельствует о наличии окислительной обстановки (см. рисунок 2.3). Анализируя данный тип озерно-ледниковых отложений для инженерно-геологических целей, можно отметить, что наличие окислительных условий предопределяет особенности структурных связей и состояние этих грунтов в верхней части разреза, где протекают гипергенные процессы. Ожелезненность в разрезе грунтов фиксируется по наличию пятен, разводов ржавого и бурого цвета; с глубиной содержание окислов железа уменьшается, что вызывает изменение окраски (исчезновение желто-бурых тонов и появление серого цвета). Отложения верхней зоны характеризуются меньшими влажностями, большей прочностью, более устойчивой консистенцией. Исключение составляют разрезы озерно-ледниковых отложений, где отмечается заболоченность, либо загрязненность разреза за счет утечек из канализационной системы или захороненных свалок, содержащих органическое вещество.

Разрез второго типа приурочен к низкой Литориновой террасе, где комплекс озерно-ленточных глинистых отложений перекрыт современными осадками Литоринового моря, которые характеризуются присутствием растительных остатков, а также прослоев торфов, как уже указывалось ранее (см. рисунок 2.3). Наличие толщи перекрывающих отложений, со значительным содержанием органики предопределяет, как уже неоднократно отмечалось, формирование восстановительных условий. Для данного типа озерно-ледниковых отложений характерно высокое содержание соединений Fe^{2+} , отсутствие цементационных

связей и формирование прочности за счет молекулярных сил. Кроме того, прослеживается постепенное увеличение величины микробной массы (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Содержание микробного белка (ММ) в озерно-ледниковых отложениях в зависимости от окислительно-восстановительных условий

Зона по разрезу	Eh, mV	rH ₂	ММ, мкг/г
Окислительная	50-200	17,3-22,5	<100
Переходная	50-0	11,4-17,3	100-150, реже больше
Восстановительная	менее 0	7,6-11,4	>150-200

Свидетельством существования выделенных типов озерно-ледниковых отложений по окислительно-восстановительным условиям служат данные, указывающие на содержание форм железа в отобранных образцах грунтов из специально оборудованных гидрохимических створов в окрестностях Санкт-Петербурга [57]. Согласно результатам исследований, количество Fe³⁺ с глубиной заметно уменьшается при одновременном возрастании содержания Fe²⁺. Вместе с тем, в нижних частях разреза зафиксированы наиболее высокие значения коэффициента $K = Fe^{2+} / Fe^{3+}$ (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Содержание форм железа в различных окислительно-восстановительных условиях толщи озерно-ледниковых отложений

Окислительно-восстановительная обстановка	Визуальное описание грунтов	Содержание железа, мг/дм ³		Fe ²⁺ / Fe ³⁺
		Fe ²⁺	Fe ³⁺	
Окислительная	Преимущественно желтая и желто-коричневая окраска, наличие охристых пятен и разводов	5,3-14,1	19,6-25,4	0,21-0,72
Переходная	На фоне серого цвета редкие желтые и коричневые включения	14,1-16,2	15,1-19,6	0,72-1,03
Восстановительная	Серый и голубоватый цвет	16,2-19,5	8,2-15,1	1,03-2,4

Подобная зависимость в распределении форм железа в толще рассматриваемых грунтов подтверждает наличие восстановительных условий ниже положения зеркала грунтовых вод.

Влияние окислительно-восстановительных условий отражается в закономерной тенденции снижения прочности во времени для озерно-ледниковых глинистых отложений в пределах территорий с разной степенью интенсивности контаминации в различных зонах по глубине, что наблюдалось в районах загрязнения озерно-ледниковых отложений нефтепродуктами – соляровым маслом, а также канализационными стоками.

Оценка влияния окислительно-восстановительных условий на величину сопротивления сдвигу озерно-ледниковых глинистых отложений проводилась в полевых условиях при загрязнении грунтовых вод, приуроченных к песчано-пылеватым прослоям этих текстурно-неоднородных грунтов.

Для оценки изменения состояния и прочности грунтов в течение 2 лет осуществлялся отбор образцов на содержание микробной массы и полевые определения прочности с использованием крыльчатки СК-10. Изменение прочности озерно-ледниковых отложений (τ) во времени в различных зонах по окислительно-восстановительным условиям по глубине разреза представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Изменение прочности озерно-ледниковых глинистых отложений во времени в различной окислительно-восстановительной обстановке [104]

Зона разреза	Интервал времени t, мес.	Прочность грунта τ , МПа в скважинах:		
		центральной	наблюдательных	
			№ 1	№ 2
<i>Окислительная (аэробная) до 2 м</i>	0	>0,100	>0,100	>0,100
	3	0,037	0,043	0,042
	10	0,032	0,036	0,041
	12	0,031	0,031	0,036
	24	0,029	0,030	0,032
<i>Переходная 2-4 м</i>	0	0,042	0,038	0,042
	3	0,037	0,037	0,037
	10	0,034	0,035	0,036
	12	0,030	0,031	0,029
	24	0,030	0,030	0,029
<i>Восстановительная >4 м</i>	0	0,039	0,042	0,039
	3	0,034	0,038	0,037
	10	0,032	0,037	0,036
	12	0,028	0,031	0,033
	24	0,025	0,026	0,027

По результатам исследований, на фоне общего снижения прочности грунтов наблюдалось заметное увеличение содержания в них микробной массы (по белку) во времени, которое хорошо коррелировало с относительным изменением сопротивления сдвигу (рисунок 2.8).

Как следует из анализа рисунка 2.8, наибольшее уменьшение прочности зафиксировано в окислительной зоне, что связано не только с накоплением ММ*, но и с разрушением структурных связей за счет гидрооксидов железа $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

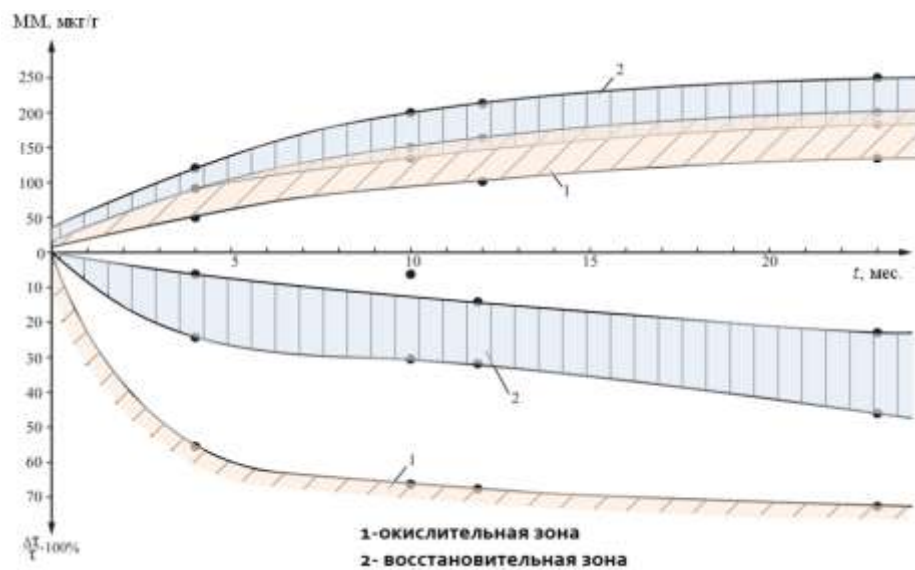


Рисунок 2.8 – Относительное уменьшение прочности ($(\Delta\tau/\tau) \cdot 100\%$) озерно-ледниковых отложений во времени (t) при накоплении микробной массы (ММ) за счет активизации деятельности микроорганизмов [59]

В качестве примера можно привести результаты исследований озерно-ледниковых отложений в разрезе площадки строительства учебно-лабораторного корпуса на Васильевском острове, территория которой испытала длительный период контаминации, насчитывавшей около 300 лет (таблица 2.8) [196].

По текстурным признакам, гранулометрическому составу, состоянию и свойствам озерно-ледниковая толща, вскрытая на глубине 10,0-24,0 м, подразделена на три слоя: слой 1 - суглинки легкие, реже супеси пылеватые,

* - Микробная масса (ММ) по содержанию микробного белка определялась с использованием биохимического метода М. Бредфорда

текучепластичные и текучие (супеси), тиксотропные; слой 2 - глины ленточные пылеватые с прослоями тяжелой глины, текучепластичной и текучей консистенции; слой 3 - суглинки серые пылеватые с линзами глины мягко- и текучепластичной консистенции, неяснослоистые, слаботиксотропные.

Таблица 2.8 – Характер и особенности освоения территории строительной площадки научно-лабораторного корпуса СПГУ

Этапы освоения	Характер и особенности освоения
XVIII в.	Размещение слободы (селения) в Галерной Гавани
XVIII-XIX вв.	Существование частных домов, огородов и пастбищ для выпаса скота
30-50 ^{ые} годы XX в.	Расположение свалок хозяйственно-бытовых отходов, мелких водоемов, после войны - свинарники и теплицы
2/2 XX в.	Функционирование автопредприятия №4

Диапазон варьирования показателей гранулометрического состава, физических свойств и средние значения для каждого выделенного слоя рассматриваемых отложений приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Гранулометрический состав и физические свойства толщи озерно-ледниковых отложений в зоне интенсивной и длительной контаминации (территория строительной площадки учебно-лабораторного корпуса СПГУ)

Группы, выделенные по гранулометрическому составу	Содержание фракций, в мм, %			ρ , г/см ³	W, %	e, д.ед.	S _r , д.ед.	I _L	I _p , д.ед.	Содержание ММ по Бредфорду, мкг/г
	>0,05	0,05 - 0,002	<0,002							
Слой 1	11	77	12	1,95	29,3	0,794	0,99	1,05	0,089	40,0-65,0
Слой 2	5	53	42	1,82	40,0	1,102	0,99	1,106	0,195	64,0-89,0
Слой 3	9	67	24	1,95	28,9	0,807	1,00	0,82	0,134	87,5-132,0

Примечание: ρ – плотность, W – влажность, e – коэффициент пористости, S_r – коэффициент насыщения, I_L – показатель консистенции, ϕ – угол внутреннего трения, c – сцепление, E – модуль общей деформации, ММ – микробная масса

Слой 1 (10,0-15,0 м) представлен отложениями наиболее легкими по составу, которые переходят в состояние тяжелой жидкости при слабом вибрационном воздействии, что обусловлено спецификой гранулометрического состава и высокой микробиологической пораженностью пород. S – образный характер деформирования образцов в условиях трехосного сжатия свидетельствует об аномально низкой прочности связей, что определяется ослаблением молекулярных взаимодействий между тонкодисперсными частицами за счет формирования биопленок и газовой составляющей. Суглинки и супеси с текучей консистенцией имеют нулевое трение и очень малое сцепление ($< 0,01$ МПа).

Для **слоя 2** отличительной особенностью является наличие выраженной ленточной текстуры, а также достаточно высокое содержание глинистой фракции. Данные экспериментальных исследований в условиях трехосных испытаний показывают, что озерно-ледниковые глины слоя 2 следует рассматривать как квазипластичную среду, сцепление которой в зависимости от содержания глинистой фракции и влажности не превышает 0,016 МПа.

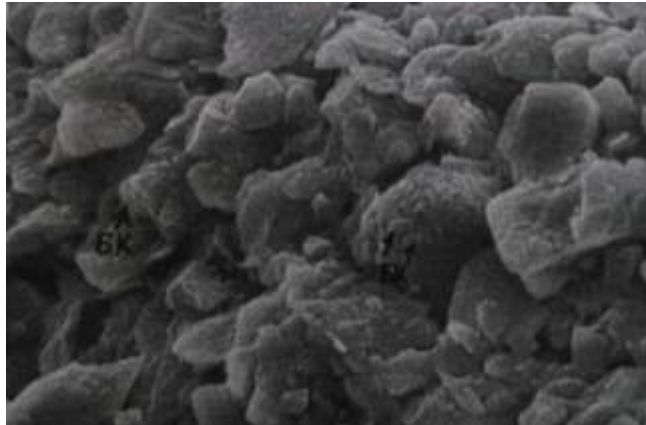
Слой 3 характеризует нижнюю зону озерно-ледниковой толщи (21,0-24,0 м), представлен суглинками неяснослоистыми с редкими включениями гравия (до 1%). Этот слой также как и вышележащие озерно-ледниковые отложения характеризуются высокой пылеватостью (см. таблицу 2.9). Для образцов слоя 3 характерны низкие значения модуля общей деформации E_0 (от 0,08 МПа до 1,2 МПа) и параметров прочности ($c = 0,005 - 0,027$ МПа и $\varphi = 0-6^0$).

Высокая степень загрязненности рассматриваемой территории подтверждается количеством микробной массы (ММ), которая определялась по содержанию микробного белка с использованием биохимического метода М. Бредфорда. Полученные данные дают возможность убедиться в значительной степени микробной пораженности всей озерно-ледниковой толщи (более 130 мкг/г). Вместе с тем, степень микробиологической пораженности грунтов была оценена согласно результатам прямых исследований, проведенных Рыбальченко О.В., профессором медицинского факультета СПбГУ, на электронном

сканирующем микроскопе с увеличением: x3000, x4000 [196]. Характер микробиологической пораженности, а также локальные колонии микроорганизмов, отмеченные на поверхности частиц озерно-ледниковых отложений представлены на рисунках 2.9, 2.10.

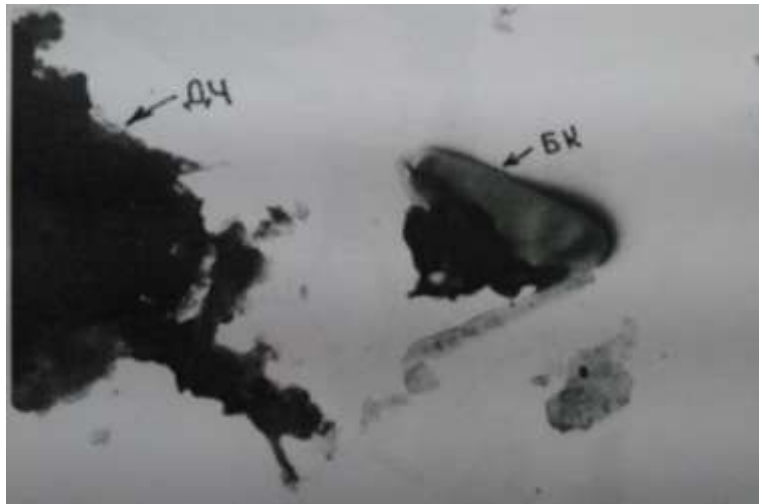


I) Частица грунта покрыта тонким слоем биопленки, в которой видны контуры бактериальной клетки (БК)



II) Биопленка на поверхности частиц грунта. Бактериальные клетки (БК) в матриксе продуктов метаболизма

Рисунок 2.9 – Характер микробиологической пораженности поверхности частиц озерно-ледниковых отложений, выявленных с помощью сканирующего электронного микроскопа при увеличении: I) x3000; II) x4000. Глубина отбора пробы 20,5-21,0 м.



БК – бактериальные клетки
 ДЧ – дисперсная частица
 БК – бактериальные клетки
 ПМ – продукты метаболизма

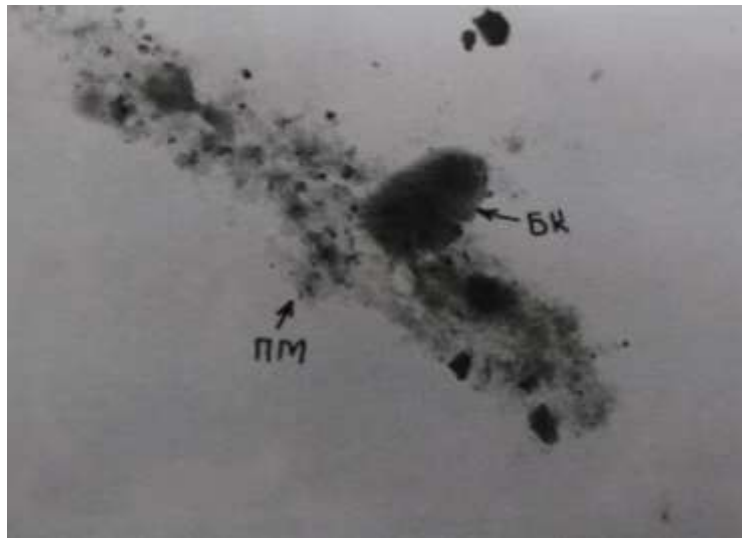


Рисунок 2.10 – Общий вид различных форм бактериальной жизнедеятельности в озерно-ледниковых глинах, выявленный с помощью просвечивающего электронного микроскопа при увеличении $\times 17000$. Глубина отбора пробы 20,5-21,0 м.

Таким образом, по результатам приведенных исследований существование бескислородных условий при наличии соединений техногенного генезиса биотического и абиотического характера следует рассматривать как один из важнейших факторов преобразования состава, состояния и свойств озерно-ледниковых отложений.

2.3 Воздействие контаминации подземной среды на изменение состояния и физико-механических свойств прочных глинистых грунтов (на примере морены и нижнекембрийской синей глины)

Последние десятилетия строительство новых жилых комплексов, а также реконструкция и реставрация старинных сооружений и архитектурно-исторических памятников ведется, в основном, с использованием свайных фундаментов, несущим горизонтом для которых служит верхняя морена (осташковский горизонт), реже московская. В пределах Предглинтовой низменности, расположенной в южной части Санкт-Петербургского региона, в качестве основания для наземных сооружений различного назначения выступают нижнекембрийские синие глины.

Согласно нормативным документам, в том числе ТСН 50-302-2004, актуализированным 12 февраля 2016 года, в разделе 12 «Свайные фундаменты» (п. 12.2) указывается, что гляциальные (моренные) пески разной крупности средней плотности и плотные глинистые грунты (моренные, флювиогляциальные и кембрийские от твердой до тугопластичной консистенции) служат надежным несущим горизонтом для свайных фундаментов [179].

В пределах исторического центра города либо на застроенных территориях вне его применяются буронабивные сваи различных типов.

Известно, что в пределах низкой Литориновой террасы Санкт-Петербурга с абсолютными отметками от 0 до 9,5-10,0 м осташковская морена перекрыта озерно-ледниковыми и озерно-морскими песчано-глинистыми водонасыщенными отложениями (см. рисунок 2.3, рисунок 2.11, а, б, в). Особое внимание при анализе инженерно-геологических условий и оценке несущей способности свай следует обратить на наличие погребенных торфов под техногенными образованиями, а также грунтов озерно-морского генезиса, которые содержат органику в различных количествах, оказывающую негативное влияние на подстилающие грунты и на характеристику трения по боковой поверхности свай.

В разрезе верхней Литориновой террасы (абс. отм. поверхности от 9,5 до 15 м) отсутствуют отложения Литоринового моря, обогащенные органическим веществом. Однако, необходимо принимать во внимание, что озерно-ледниковые разности, обладающие малой водопроницаемостью, могут быть заболочены, что присуще для выделенного первого подтипа разреза (см. рисунок 2.11, г). В тех случаях, где моренные грунты перекрываются озерно-ледниковыми образованиями при отсутствии болотных отложений формируется второй подтип, который не характерен для исторической части города (см. рисунок 2.11, д). На рисунке 2.3 приведены участки развития болотных (неснятых) отложений как в пределах низкой Литориновой террасы, так и высокой.

На локальных участках (см. рисунок 2.3) территории Санкт-Петербурга морена осташковского горизонта выходит на дневную поверхность, что способствует протеканию процессов гипергенеза за счет ожелезнения и дегидратации (см. рисунок 2.11, е). Однако, возможно также негативное преобразование моренных грунтов в условиях их приповерхностного залегания за счет заболачивания либо складирования на них хозяйственно-бытовых отходов (см. рисунок 2.11, ж).

Значительное содержание органики в верхней части разреза предопределяет формирование анаэробных условий в подземной среде, прежде всего, в моренных отложениях. Бескислородная обстановка может существовать и в условиях отсутствия аэрации моренных грунтов при залегании на них более молодых глинистых образований. Наличие торфов и грунтов, содержащих органическое вещество, способствует обогащению нижележащих слоев органикой биотического и абиотического генезиса. Наиболее негативное влияние на моренные отложения оказывает непосредственное поверхностное складирование хозяйственно-бытовых отходов, в которых присутствуют органические соединения различного генезиса (см. рисунок 2.11, в).

Кроме того, при формировании состояния и свойств моренных отложений и соответственно их несущей способности принципиальное значение имеет степень контаминации разреза, в первую очередь, грунтовых вод, где водоупором служит

глинистая морена, в толще которой достаточно часто встречаются изолированные линзы различных по гранулометрическому составу песков, а также крупнообломочных отложений, содержащих напорные воды, с давлением до 2 атм. иногда выше (см. рисунок 2.11, б). Следует отметить, что напорные воды оказывают значительное и негативное влияние на несущую способность свай при восходящем их перетекании за счет снятия трения в контактной зоне: бетон – грунт.

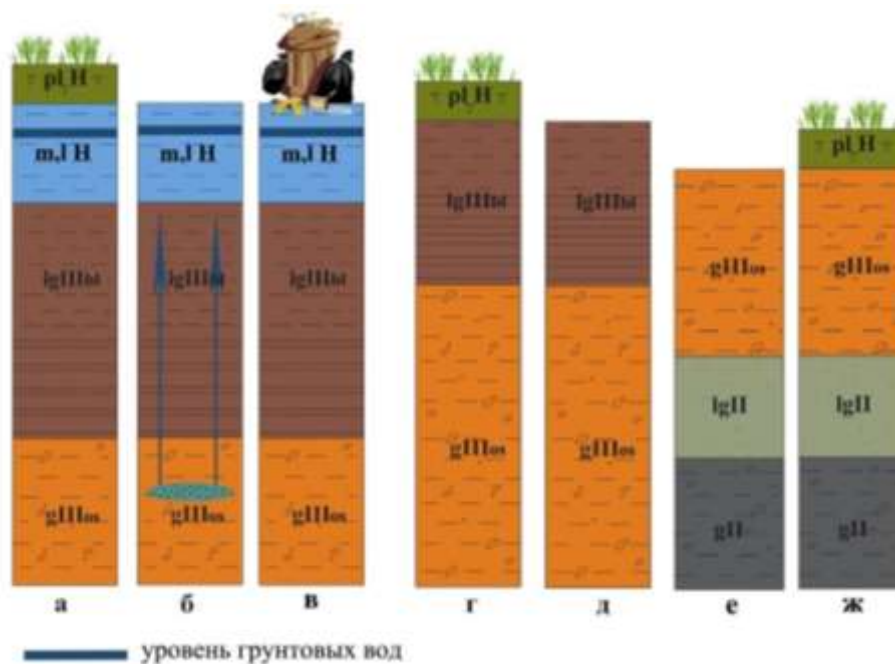


Рисунок 2.11 – Типовые разрезы I (нижней) и II (верхней) Литориновой террасы: pl II – болотные отложения, ml II – озерно-морские литориновые отложения, lg IIIa – озерно-ледниковые отложения, g IIIos – моренные отложения ошашковского горизонта, g II – отложения московской морены

Как уже отмечалось, результаты опробования подземных вод по скважинам режимной сети, подтверждают существование восстановительных условий в обводненной толще разреза, что подтверждается замерами окислительно-восстановительного потенциала ($E_h < 0$ mV), величина которого во многих случаях принимает отрицательные значения. В таких грунтовых водах наблюдается широкий диапазон разброса минерализации (от 418 до 2780 мг/дм³), фиксируются высокие значения восстановленных соединений серы и азота, довольно часто в процессе опробования отмечается запах сероводорода и черная взвесь – коллоидные частицы гидротроилита и органики (таблица 2.10) [59].

Таблица 2.10 – Состав грунтовых вод исторической части Санкт-Петербурга

Элементы	I	II	III	IV	V	VI
NH_4^{4+} , мг/дм ³	1,4-25,2	2,3-4,0	1,8-33,0	1,9-2,7	2,4-5,0	1,5-9,8
SO_4^{2-} , мг/дм ³	24,6-65,7	16,0-41,1	16,0-164,4	8,0-57,5	22,0-123,3	13,8-657,6
Cl ⁻ , мг/дм ³	39,0-709,6	42,5-60,4	35,4-857,9	35,4-226,9	32,0-71,2	28,7-531,0
HCO_3^- , мг/дм ³	122,0-1384,5	463,6-573,4	244,0-1723,0	183,0-427,0	97,6-488,1	158,6-1220,0
Минерализация, мг/дм ³	577,1-2484,5	895,2-723,6	449,1-2780,4	418,4-897,8	361,2-956,9	482,8-2725,5
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /дм ³	12,3-74,3	25,6-81,2	13,2-57,0	16,6-36,0	14,8-61,2	19,0-144,0
ХПК, мгО ₂ /дм ³	24,7-112,2	44,0-112,0	34,2-80,0	20,0-64,0	20,0-80,0	40,0-320,0
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	4,0-12,3	6,0-7,2	0,5-2,8	6,6-8,4	5,8-10,2	6,6-30,2
СО ₂ агр., мг/дм ³	17,6-24,2	до 2,2	до 48,8	2,2-13,2	2,2-22,0	2,2-103,4
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,14	0,12-	0,04-0,92	0,12-0,26	0,07	0,08-0,91

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

Как показали экспериментальные исследования, величина БПК₅ в грунтовых водах Безымянного острова достигает 30,2 мгО₂/дм³, что свидетельствует об активности аэробных форм микроорганизмов и коррелирует с общим содержанием органических соединений, где максимальная величина ХПК – 320 мгО₂/дм³.

Необходимо также указать, что при нисходящей фильтрации контаминированных грунтовых вод может происходить загрязнение не только водоупоров, но и водоносных линз в осташковской морене, что подтверждается результатами химического анализа на строительной площадке научно-лабораторного корпуса СПбГУ (Санкт-Петербургского Горного Университета), где в процессе бурения было вскрыто два водоносных горизонта: грунтовые воды (на

глубине 3,5 м от поверхности) и напорные (на глубине 24,0 м), приуроченные к линзе гравийно-галечниковых отложений (таблица 2.11) [196].

Таблица 2.11 – Результаты химического анализа подземных вод, отобранных на площадке строительства научно-лабораторного корпуса СПГУ

Определяемые показатели	Ед. изм.	Численные показатели	
		Грунтовые воды	Напорные воды в линзе ошашковской морены
Калий+Натрий	мг/дм ³	313	610
Кальций	мг/дм ³	105	123,2
Магний	мг/дм ³	116	770
Аммоний-ион	мг/дм ³	30,8	0,86
Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	1723	644
Нитрат-ион	мг/дм ³	<0,050	0,120
Нитрит-ион	мг/дм ³	0,053	0,033
Сульфат-ион	мг/дм ³	144	67
Хлорид-ион	мг/дм ³	180	1061
Сухой остаток	мг/дм ³	1893,0	2325,0
Минерализация	мг/дм ³	2732	2640
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	36	6,4
ХПК	мгО ₂ /дм ³	150,0	19,4
БПК₅	мгО ₂ /дм ³	8,92	3,24
Агрессивная углекислота	мг/дм ³	11,0	3,3
Свободная углекислота	мг/дм ³	282	72
Жесткость общая	°Ж	15,3	20,9
рН	-	7,2*	7,46
Fe²⁺	мг/дм ³	0,34	0,77
Fe³⁺	мг/дм ³	1,12	1,18
Нефтепродукты	мг/дм ³	1,45	6,50
Еh	mv	-36	-38

Примечание: * - замерено в лабораторных условиях

Гидрохимическое опробование показало, что напорные воды по характеру загрязнения весьма близки к грунтовым, причем содержание отдельных поллютантов даже значительно превышает таковое в грунтовом водоносном горизонте.

Однако, содержание органических соединений, определяемое по величине перманганатной окисляемости и ХПК, различаются. Снижение этих показателей в напорных водах объясняется тем, что происходит сорбция органического вещества при нисходящей фильтрации. Это положение доказывается

исследованием количества органического вещества в моренных отложениях, которое определялось по величине $C_{орг}$ методом мокрого сжигания и достигало 3%. Как известно, ледниковый генезис этих грунтов предполагает полное отсутствие органических веществ. Следовательно, присутствие органики в них необходимо рассматривать как результат контаминации водоупоров при инфильтрации грунтовых вод.

Содержание органических соединений различного генезиса в моренных грунтах, а также окислительно-восстановительные условия в сочетании с физико-химическими процессами, протекающими в глинистых водоупорах, будут способствовать преобразованию их гранулометрического состава, прочности и деформационной способности, в значительно меньшей степени - их физического состояния по плотности и по консистенции (таблица 2.12).

Наличие восстановительных условий приводит к редукции трехвалентного железа, выступающего в роли активного коагулянта, при этом соединения трехвалентного железа формируют цементационные связи в морене. Переход Fe^{3+} в подвижную закисную форму (Fe^{2+}) влечет за собой деградацию структурных связей за счет растворения и выноса цементирующих веществ, диспергацию глинистых грунтов и соответственно повышение их гидрофильности, что переводит такие грунты в категорию более слабых и деформируемых [59].

Таблица 2.12 – Влияние изменения окислительно-восстановительных условий и микробной пораженности моренных грунтов на параметры сопротивления сдвигу

Наименование грунта	Особенности окислительно-восстановительных условий	Величина ММ, мкг/г	Параметры сопротивления сдвигу		Примечание
			с, МПа	φ, град	
Морены	Eh >50 mV	30,0-40,0	0,15	15	Изменение и переход охристых оттенков в серовато-зеленые тона
	Eh <0mV	> 150	0,04	< 5	

Как было отмечено ранее, поступление органических соединений абиотического и биотического генезиса за счет природных и техногенных источников, создает благоприятные условия для активизации

микробиологической деятельности. Результатом такого процесса является накопление биомассы – живых и мертвых клеток микроорганизмов, продуктов их метаболизма белковой и небелковой природы, которые сорбируются на минеральных частицах дисперсных пород в виде биопленок – сложных в структурном плане динамических микробных сообществ, прикрепленных к поверхности частиц и/или друг к другу.

При этом степень негативного влияния активизации микробной деятельности зависит от гранулометрического типа моренных отложений, которые могут быть условно разделены на три группы:

1. Близкие к оптимальным смесям: содержание песчаной фракции различного размера достигает 60-70%, небольшое количество пылеватых частиц, а глинистая фракция - менее 5-10%, что отвечает супесчаному составу грунтов.

2. Супеси и суглинки с повышенным содержанием пылеватой фракции, количество которой превышает общее количество песчаной.

3. Глина пылеватая, где значения глинистой фракции превышает 30%, а количество пылеватых может варьировать в широких пределах, превосходя в отдельных случаях песчаные.

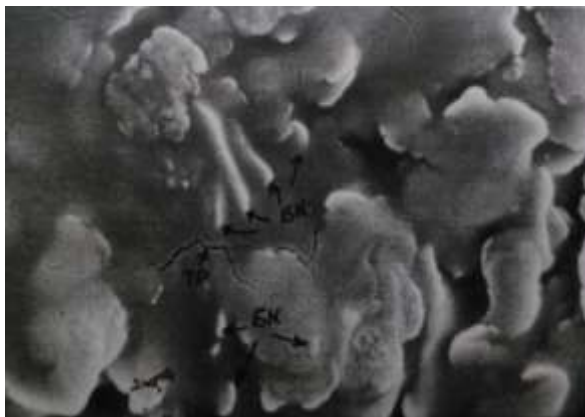
Наиболее сильное отрицательное воздействие органические соединения оказывают на грунты второй группы. В первом гранулометрическом типе, близком по составу к оптимальным смесям, имеющим высокую плотность и низкую пористость, фиксируется сравнительно небольшое количество клеток микроорганизмов и продуктов их метаболизма

В анаэробной зоне, где отмечается загрязнение ионом NH_4^+ прослеживаются чаще всего глинистые морены третьей группы. Ион NH_4^+ действует как диспергатор, разрушая устойчивые агрегаты пылевато-глинистых грунтов и способствуя увеличению содержания тонкодисперсных фракций, что усиливает их способность к пластическому характеру деформирования грунтов и длительному развитию больших и неравномерных осадков.

Анализ результатов изучения моренных грунтов проведен на уже рассматриваемом выше разрезе площадки строительства учебно-лабораторного

корпуса на Васильевском острове, где отмечается длительный процесс контаминации территории (см. таблицу 2.8).

О высокой степени загрязненности моренных отложений свидетельствует величина микробной массы (ММ), которая определялась по содержанию микробного белка с использованием биохимического метода М. Бредфорда (таблица 2.13). При этом значения ММ значительно превышают фоновые величины, характерные для незагрязненных моренных суглинков - $ММ < 15$ мкг/г. На рисунках 2.12, 2.13 изображены особенности микробной пораженности моренных суглинков согласно данным прямых исследований (проф. Рыбальченко О.В.) [196].

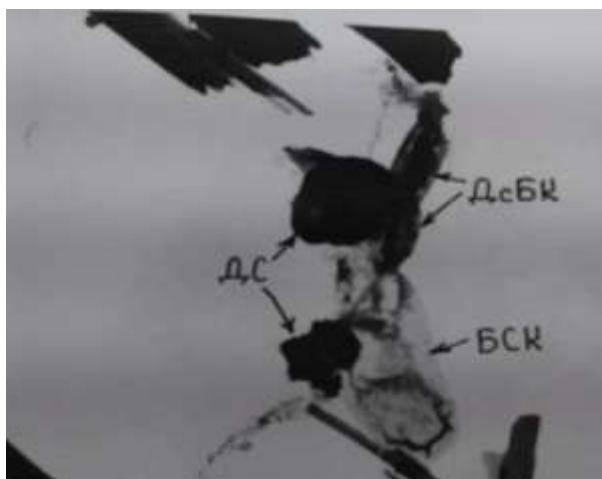


I) На поверхности частиц грунта видны контуры бактериальных клеток (БК), погруженные в биопленку. Трещины (ТР) в поверхностном слое грунта возникают в результате сканирования электронным лучом



II) В слое биопленки на минеральных частицах видны контуры бактериальных клеток

Рисунок 2.12 – Характер микробиологической пораженности поверхности частиц моренных суглинков, выявленный с помощью сканирующего электронного микроскопа при увеличении $\times 4000$. Глубина отбора пробы 33,8-34,1 м.



- I) ДсБК – деструктурированные бактериальные клетки
 БСК – бактериальная клеточная стенка
 ДС – дисперсные частицы



- II) Фрагмент, отслоившейся от субстрата биопленки, в толще которой видны контуры бактериальных клеток (БК)

Рисунок 2.13 – Общий вид различных форм бактериальной жизнедеятельности в моренных суглинках, полученный с помощью просвечивающего электронного микроскопа методом позитивного окрашивания уранилацетатом при увеличении $\times 17000$.

Глубина отбора пробы 33,8-34,1 м.

Исследования моренных отложений без жестких структурных связей и загрязненных органическими соединениями, в основном биотического происхождения, выполненные в условиях трехосного сжатия по схеме НН (неконсолидированно-недренированные испытания), свидетельствуют о пластическом характере деформирования тугопластичных моренных грунтов (рисунок 2.14). Как уже указывалось ранее, такие отложения в действующих ТСН

50-302-2004 отнесены к надежным грунтам при оценке их несущей способности для свайных фундаментов.

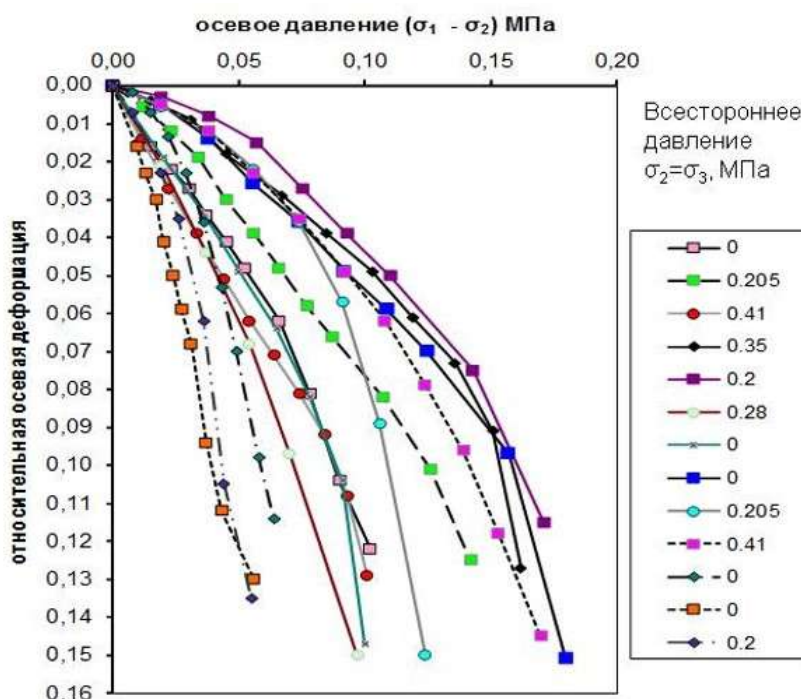


Рисунок 2.14 – Развитие относительной осевой деформации тугопластичных моренных суглинков с площадки на углу ул. Нахимова и ул. Наличной (г. Санкт-Петербург) в зависимости от осевого давления в условиях трехосного сжатия при различных значениях всестороннего давления. ($\sigma_2 = \sigma_3$)

При сохранении постоянной консистенции снижается величина сопротивления сдвигу и модуль общей деформации. Варьирование угла внутреннего трения определяется гранулометрическим типом моренного грунта. Сохранение достаточно высоких значений углов внутреннего трения отмечается для 1 гранулометрического типа ($\varphi=21^\circ$) при самой высокой плотности и низкой влажности, наименьшие углы зафиксированы в грунтах 2 и 3 типов ($\varphi=3-4^\circ$), что связано с их повышенной пылеватостью и глинистостью в условиях увеличения естественной влажности. Модуль общей деформации в интервале осевого давления (от 0,1 до 0,05) во всех случаях меньше 5 МПа, что позволяет отнести такие грунты к отложениям с высоким уровнем их деформационной способности и возможностью развития больших и неравномерных осадок в основании сооружения (таблица 2.13) [62]. При больших величинах осевого давления начинают развиваться незатухающие деформации, при таких условиях расчет модуля общей деформации выполнять нельзя.

Таблица 2.13 – Гранулометрический состав, показатели физико-механических свойств и содержание микробной массы в морене осташковского горизонта с территории строительной площадки учебно-лабораторного корпуса

Группы, выделенные по гранулометрическому составу	Содержание фракций, в мм, %			ρ , г/см ³	W, %	I_L	Параметры механических свойств		E, МПа	Среднее содержание ММ по Бредфорду, мкг/г
	>0,05	0,05 - 0,002	<0,002				c, МПа	ϕ , град		
1	69	21	10	2,34	10	0,30	0,025	21	3,2	99,0
2	11	66	23	2,07	22	0,41	0,024	4	2,0	108,0
3	1	69	30	2,0	26	0,42	0,04	3	1,7	82,0

Примечание: ρ – плотность, W – влажность, I_L – показатель консистенции, ϕ – угол внутреннего трения, c – сцепление, E – модуль общей деформации, ММ – микробная масса

Более высокое значение сцепления для третьей группы морен объясняется наличием молекулярной связности, которая увеличивается с ростом содержания тонкодисперсных фракций ($d < 0,002$ мм). Кроме того, на величину сцепления оказывает воздействие также присутствие техногенной органики, имеющей цепочечные структуры, прочность которых определяется наличием водородных связей.

Необходимо подчеркнуть, что исследование механических свойств моренных грунтов, выполненное в стабилометрах по схеме неконсолидированно-недренированного (НН) испытания позволяет определять характеристики сцепления, угла внутреннего трения и модуля общей деформации в условиях сохранения их естественной влажности и плотности.

При проектировании учебно-лабораторного корпуса вышеприведенные морены (см. таблица 2.13) не были рекомендованы как несущий горизонт для свайного фундамента. Сваи были заглублены в верхнекотлинские глины верхнего венда как более прочные и мало деформируемые. Комплекс разноэтажных зданий, возведенных на таких сваях успешно эксплуатируется: величина осадки не превышает 3-4 см. Вместе с тем, жилые и административные здания, построенные в различных районах города, где несущим слоем для свайных

фундаментов были выбраны моренные отложения восстановительной зоны, дают длительные и медленно затухающие осадки в течение первых десяти лет эксплуатации, способствуя трещинообразованию в стенах, что переводит здания в предаварийное состояние. При строительстве зданий на моренных отложениях на плитных или ленточных фундаментах также необходимо учитывать возможность негативной трансформации грунтов, служащих основанием.

Строительство одной из испытательных лабораторий 14 этажного корпуса размером 20*104 м и максимальным давлением под подошвой фундамента 0,52 МПа (с учетом заполнения водой гидроканала), было реализовано на плите, толщиной 1,2 м, разрезанной на три части для устройства осадочных швов в корпусе здания, где основанием является морена осташковского горизонта [55]. Ранее на рассматриваемой территории свыше 50 лет существовала свалка хозяйственно-бытовых отходов одного из мясоперерабатывающих комбинатов, которая при инженерной подготовке площадки была удалена и заменена пятиметровым слоем привозного песка. В основании сооружения прослеживались локальные маломощные пятна озерно-ледниковых образований, залегающих на преобразованных моренных суглинках осташковского горизонта, а в самой нижней части разреза вскрыты синие глины нижнего кембрия. Моренные грунты характеризовались небольшим диапазоном влажности (20-23%), плотности (1,98-2,02 т/м³) показателем консистенции (0,62-0,63) и по гранулометрическому составу принадлежали ко второй группе. Для определения расчетного сопротивления на стадии проектирования были использованы показатели сопротивления сдвигу (c , φ), полученные в одноплоскостных сдвижных приборах по схеме КД (консолидированно-дренированная), принимая во внимание, что в основании будет происходить фильтрационная консолидация, приводящая к уплотнению этих грунтов. Величина расчетного сопротивления (R) при полученных параметрах прочности ($c=0,015$ МПа, $\varphi=25^\circ$), указанных размерах плиты и ее заглубления 5,0 м, составила 0,68 МПа, что значительно выше давления под подошвой – 0,52 МПа. Следовательно, был сделан вывод, что грунт в основании работает в зоне линейных деформаций в условиях затухания

деформаций во времени. Конечные осадки были рассчитаны с использованием модуля общей деформации, полученного по результатам компрессионных испытаний с учетом повышающего коэффициента И.А. Агишева, который составил 30-40 МПа. Соответственно проектная осадка не превышала 15 см. Таким образом, при проектировании сооружения по второму предельному состоянию с использованием полученных параметров сопротивления сдвигу и деформируемости позволил сделать вывод о том, что его устойчивость может быть гарантирована. Однако еще на стадии строительства, когда давление от веса сооружения превысило половину проектной величины, началось интенсивное развитие неравномерных деформаций, наблюдения за которыми велись более 14 лет, и их максимальная величина достигала 58 см. Поскольку за это время наблюдений стабилизации осадок не отмечалось, то для оценки причин развития больших и неравномерных деформаций, и принятия решения для обеспечения устойчивости сооружения была пройдена скважина в его основании. Определение показателей плотности, влажности и консистенции моренных грунтов показало, что все эти параметры находятся в тех же интервалах, что и до возведения сооружения. Следовательно, несмотря на высокие значения действующих давлений, консолидация грунтов в основании сооружения не наблюдалась (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Эпюры распределения нормальных напряжений σ_z и влажности (W) по глубине в моренных суглинках основания здания.

Таким образом, параметры сопротивления сдвигу моренных суглинков должны определяться по схеме НН при давлениях, которые отвечают реальному напряженному состоянию грунтов. Характеристики сопротивления сдвигу моренных суглинков, определенные по данной методике, в наибольшей степени соответствуют работе породы в основании сооружений и существенно отличаются от полученных на стадии проектирования и составили: $c=0,033$ МПа, $\varphi=5^\circ$. Определение расчетного сопротивления при полученных значениях c и φ при сохранении тех же значений плотности грунтов выше и ниже фундаментной плиты дает величину, равную $R=0,26$ МПа, которая в 2 раза меньше действующего давления от веса сооружения ($p_c=0,43$ МПа без заполнения гидроканала) и означает, что при превышении давления $R=0,26$ МПа, грунт вступил в фазу интенсивного развития пластических деформаций [55].

Приведенный пример наглядно свидетельствует, что важную роль играют определения несущей способности морен Санкт-Петербурга с учетом условий их образования и изменения под действием различных факторов, а также корректного обоснования методики проведения испытаний для определения сопротивления сдвигу и деформационной способности.

На основании вышесказанного, оценка несущей способности и соответственно устойчивости проектируемых сооружений должна базироваться на анализе негативной трансформации состава, свойств моренных отложений с учетом трансформации окислительно-восстановительных условий и микробиологических факторов, принимая во внимание специфику типового разреза.

Как уже было указано ранее, в южной части Санкт-Петербургского региона под маломощным чехлом четвертичных отложений залегают нижнекембрийские синие глины, инженерно-геологическая оценка которых должна производиться с учетом их зонального строения, за счет изменения интенсивности трещиноватости, а также величины влажности и плотности, что предопределяет степень их уязвимости и возможности преобразования под воздействием техногенных факторов, в том числе стоков различного состава [135].

Следует отметить, что негативное влияние канализационных стоков было подтверждено на примере развития неравномерных деформаций жилого девятиэтажного дома в г. Никольском, который был возведен на трещиноватых синих глинах, когда в процессе его эксплуатации наблюдались постоянные утечки из поврежденной системы отвода коммунально-бытовых стоков.

Преобразование состояния и физико-механических свойств глинистой толщи было предопределено возможностью глубокого проникновения стоков со специфическим составом по трещинам. Состав стоков были приведен в разделе 1.4 (см. таблица 1.12).

Негативное воздействие канализационных стоков способствует значительной активизации микробиологической деятельности отдельных физиологических групп микроорганизмов, либо микробиоты в целом, что способствует накоплению микробной массы, которая сопровождается снижением прочности и деформационной способности глин. В таблице 2.14 приведены экспериментальные данные по преобразованию нижнекембрийских синих глин при интенсивной контаминации и возрастании микробной массы (ММ).

Таблица 2.14 – Влияние изменения окислительно-восстановительных условий и микробной пораженности нижнекембрийских синих глин на параметры сопротивления сдвигу

Наименование грунта	Особенности окислительно-восстановительных условий	Величина ММ, мкг/г	Параметры сопротивления сдвигу		Примечание
			С, МПа	φ, град	
Нижнекембрийские синие глины	Eh >50mV	<10,2	> 0,1	10-12	-
	Eh <0mV	> 200	<0,050	0-2	Развитие пластических деформаций

Формирование восстановительных условий в процессе воздействия канализационных стоков на синие глины было вызвано, главным образом, диспергирующим действием иона NH_4^+ , нарастанием биомассы микроорганизмов и продуктов их метаболизма, что сопровождалось резкой активизацией процесса их набухания, и как следствие, способствовало разуплотнению и постепенной потери их несущей способности.

Результаты исследований показали, что величина свободного набухания синих глин изменяется от 13,5 до 24 % в стоках и 6,4 – 18,5 % в воде (таблица 2.15). При набухании в стоках возрастает величина влажности и давления набухания и составляет соответственно 36-43% - в стоках, 32-38 % в воде и 0,27 – 0,37 МПа – в стоках, 0,08-0,19 МПа – в воде. Давление набухания зависит от естественной влажности и увеличивается с уменьшением последней. Так, например, при естественной влажности 16% величина давления набухания была более 0,5 МПа. В процессе набухания синих глин в стоках наблюдался динамический характер набухания, интенсификация которого зафиксирована после добавки свежей порции стоков. При взаимодействии со стоками в течение 1,0-1,5 месяцев синие глины значительно потеряли в прочности. Изменение величины пластической прочности синих глин после взаимодействия со стоками снизилось практически в 10 раз по сравнению с набуханием в воде и ее относительное значение составило 0,37 – 0,53 % в воде, 0,04 – 0,06 % в стоках.

Таблица 2.15 – Влияние канализационных стоков на величину, время, влажность и давление набухания [135]

Естественная влажность, %	Величина свободного набухания (%) и время набухания (сут.)		Влажность набухания, %		Давление набухания, МПа	
	В		В		В	
	воде	стоках	воде	стоках	воде	стоках
24	18/3	24/32	38	43	0,08	0,27
23	6,4/4	13,5/8	34	36	-	-
20	7,9/3	13,2/26	32	37	0,19	0,37
16	18,5	24/41	37	43	0,35	>0,5

Таким образом, наиболее интенсивная деградация состояния и свойств наблюдается в грунтах более высокой степени литификации, когда разрушение цементационных связей приводит к максимальной потере прочности в сравнении с малолитифицированными разностями, где нарушение молекулярных и коагуляционных связей между глинистыми частицами способствует снижению прочности в без того генетически слабых отложениях (моренные отложения).

2.4 Выводы по главе 2

1. Проанализировано формирование окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий под воздействием природных и техногенных факторов, прежде всего болот и контаминации органическими соединениями компонентов подземной среды и их влияние на состояние и свойства песчано-глинистых грунтов.

2. Установлено, что формирование восстановительных условий разрушает цементационные связи за счет соединений трехвалентного железа в глинистых грунтах, редукция железа способствует увеличению их дисперсности и соответственно гидрофильности, что приводит к преобразованию дисперсных отложений в более слабые и неустойчивые разности, характеризующиеся пластическим деформированием в условиях трехосного сжатия.

3. Приведены результаты опробования подземных вод в пределах островов исторического центра города по скважинам режимной сети, которые подтверждают существование восстановительных условий в обводненной толще разреза, о чем свидетельствует величина индекса rH_2 ($rH_2 < 17$) как по результатам лабораторных, так и полевых определений параметров Eh и pH .

4. На основе экспериментальных исследований установлено, что влияние хорошо разложившейся органики на физические, водные и механические свойства песчаных отложений проявляется, начиная с 0,5% (по массе), а не с 3% согласно актуализированной редакции ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». Полученные данные предлагается использовать при совершенствовании классификации песчаных грунтов в зависимости от содержания органического вещества растительного генезиса.

5. Особое внимание обращено на трансформацию плотных и прочных глинистых отложений (нижнекембрийские синие глины, морены) под действием утечек из систем водоотведения, жидкой фазы свалок хозяйственно-бытовых отходов, активизации микробной деятельности. Согласно ТСН 50-302-2004. (Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге) для

Санкт-Петербурга и его окрестностей эти отложения рассматриваются как надежный несущий горизонт для различного типа фундаментов, прежде всего свайных.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОЙ КОНТАМИНАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЫ

3.1 Инженерно-геологическая и гидрогеологическая оценка условий размещения здания Биржи с учетом формирования территории стрелки Васильевского острова в историческом плане для составления проекта его реконструкции

Здание Биржи расположено в Центральном административном районе на Стрелке Васильевского острова Санкт-Петербурга по адресу: Биржевая площадь, дом 4, литера А. (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Местоположение здания Биржи на карте Санкт-Петербурга (помечено красным прямоугольником)

Необходимость подготовки проекта реконструкции здания Биржи вызвана длительными и неравномерными осадками, приводящими к разрушению несущих конструкций и трещинообразованию в стенах и перекрытиях (рисунок 3.2). По результатам инженерно-геодезических наблюдений установлено, что здание за время своего существования получило существенные неравномерные осадки, которые на данный момент продолжают развиваться с высокой скоростью, и далеки от стабилизации.

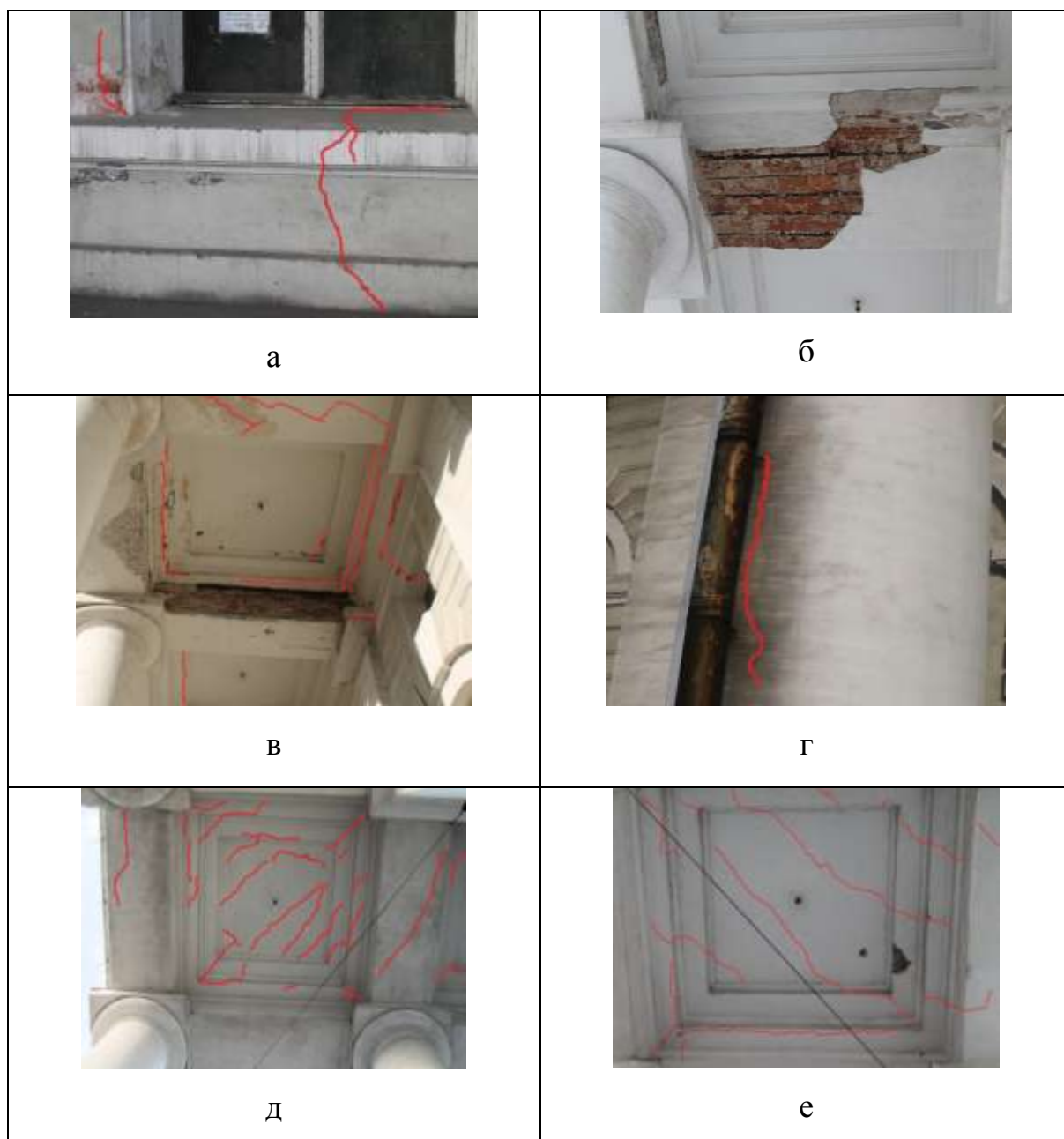


Рисунок 3.2 – Развитие трещин в несущих конструкциях здания Биржи: а - восточный фасад; б - южный фасад; в, г - северный фасад; д, е - западный фасад (автор фотографий: Ахметшина Р.М.)

Особенно интенсивно развитие осадок идет с южной и юго-восточной стороны Биржи. Средняя скорость осадок южной части здания составила 1,4 мм/год, а северной - 0,63 мм/год (рисунок 3.3, 3.4).

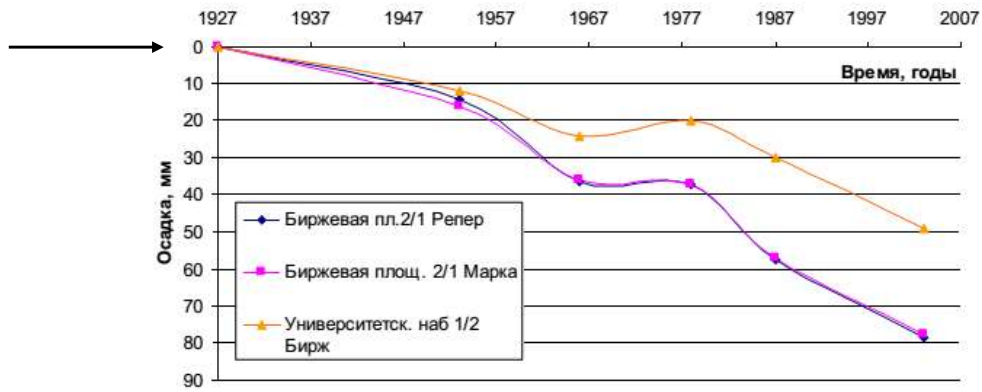


Рисунок 3.3 – График развития длительных осадок зданий Южного пакгауза (со стороны Университетской наб.)

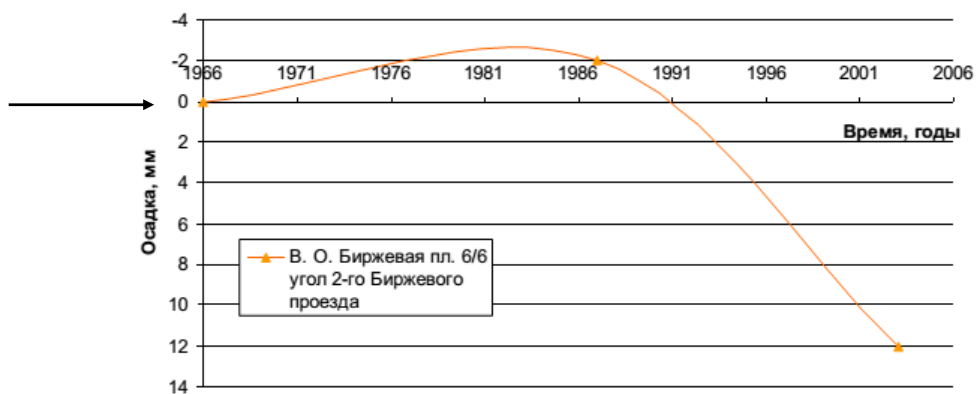


Рисунок 3.4 – График развития длительных осадок зданий Северного пакгауза (со стороны наб. Макарова)

Биржа расположена на стрелке Васильевского острова в зоне насыпной территории, которая создавалась за счет поднятия абсолютных отметок пляжевой зоны, сформировавшейся за счет аккумулятивных процессов рек Большой Невы и Малой Невы. В начале 19 века Биржевая площадь была продвинута в восточном направлении путем отсыпки песков и строительного мусора в сторону акватории Невы на 133 метра (рисунок 3.5). На насыпной территории были возведены Ростральные колонны [24, 25].



Рисунок 3.5 – Схематическая карта развития болот на территории Васильевского острова (1698 г.)

Первое деревянное здание Биржи было построено в 1730-х годах, после перевода торгового порта с Троицкой площади на Васильевский остров. В связи с увеличением товарооборота Петербургского порта места в старой бирже стало не хватать. 17 декабря 1781 года был издан императорский указ о строительстве нового каменного здания по проекту архитектора Джакомо Кваренги. Однако начало русско-турецкой и русско-шведской войны в 1788 году не позволило завершить строительство [76, 123, 144].

Новый проект Биржи был составлен в 1801 году архитектором Ж. Ф. Тома де Томоном в стиле поздний классицизм (рисунок 3.6). Официальное открытие Биржи состоялось 15 июля 1816 года [28].



Рисунок 3.6 – Здание Биржи по проекту Ж.Ф. Тома де Томона

Здание возведено на плите толщиной около 0,6 м на глубине заложения 2,8-3,6 м, выполненной из кладки известняка и уложенной на деревянных лежнях, которая служит распределяющей конструкцией для ленточных фундаментов из кирпича под стены. Под колоннами устроены пирамидальные столбчатые

известняковые фундаменты. Материал ленточных фундаментов отличается по высоте: нижняя часть - из известняка, а верхняя часть - из замоноличенного в известковом растворе окатанного булыжного камня изверженных пород (рисунок 3.7).

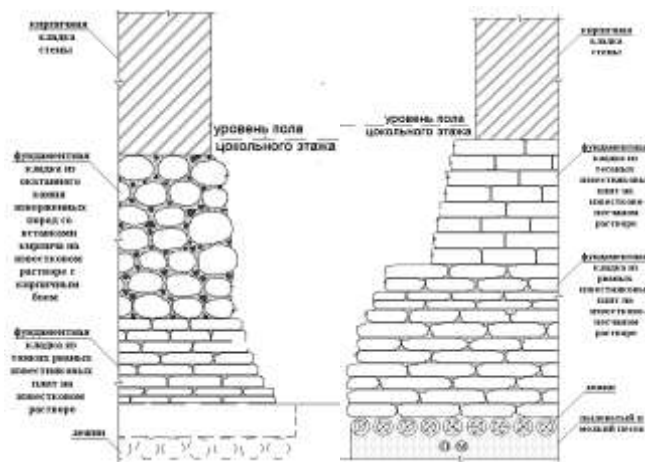


Рисунок 3.7 – Пирамидальные столбчатые фундаменты

По результатам шурфования, выполненного ПИ Геореконструкция состояние бутовой кладки фундаментов самого здания Биржи, нижней известняковой кладки фасадных ленточных фундаментов и кладки фундаментной плиты работоспособное – вымывание раствора незначительно, подвижки и вывала бута не имеется. Верхняя булыжная кладка тех же ленточных фундаментов стилобата имеет ограниченно-работоспособное состояние: камни в гнездах подвижны и подвержены вывалу, сцепление бута с раствором фактически утрачено. Состояние лежней, керн которых был отобран при бурении скважин, было оценено визуально как работоспособное: древесина лежней здоровая, следов гниения и грибка не обнаружено. Однако прямых определений биокоррозии подземных несущих конструкций, в том числе дерева, к сожалению, не проводилось.

Территория реконструируемого здания приурочена к склоновой части погребенной долины пра-Невы, где в разрезе основания выделяются следующие геолого-литологические разности песчано-глинистых грунтов. Верхнекотлинские глины верхнего венда, перекрыты ледниковыми образования Осташковской стадии оледенения (лужская морена), на которых залегают озерно-ледниковые

образования Балтийского ледникового озера. Выше по разрезу фиксируются морские и озерные отложения Литоринового моря, на которых расположены техногенные (насыпные) грунты, служащие несущим горизонтом для существующих фундаментов.

Согласно структурно-тектонической карте стрелка Васильевского острова приурочена к узлу тектонических разломов субширотного и северо-восточного направления, с которыми связано формирование системы реки Невы и погребенных долин, положение которых на рисунке 3.8 выделено желтым цветом.



Рисунок 3.8 – Структурно-тектоническая карта Васильевского острова (по Л.Г. Кабакову, Е.К. Мельникову, Б.Г. Дверницкому)

Многочисленные исследования и анализ инженерно-геологических и гидрогеологических условий в зонах тектонических разломов дали возможность убедиться в том, что толща верхнекотлинских глин верхнего венда, которая перекрыта чехлом четвертичных отложений, характеризуется высокой степенью дезинтегрированности, что имеет принципиальное значение при оценке механических свойств и водопроницаемости водоупоров.

Территория восточной оконечности Васильевского острова была освоена еще в 16-17 веках: на ней размещались шведские предприятия по переработке рыбы, небольшие деревни, пахотные земли и луга, пристани, складские помещения. В начале 18 века при освоении территории города проводилась ее инженерная подготовка, формировались техногенные образования раннего периода, снимались слои болотных отложений малой мощности. Кроме того, наличие перерабатывающих предприятий, ведение сельского хозяйства, существование деревень в 15-16 вв. оказало негативное воздействие на состояние

грунтовой толщ, загрязнение подземных вод, рост их агрессивности за счет компонентов хозяйственно-бытовых отходов, и прежде всего, повышение содержания техногенного органического вещества.

В пределах территории здания Биржи по результатам различных исследований фиксируется до 3-х водоносных горизонтов: грунтовые воды, с мозаичным характером загрязнения и характеризующиеся повышенным содержанием органики, и два напорных, первый из которых относится к четвертичным отложениям – линзам и прослоям песков в морене и второй – приурочен к отложениям верхнего венда (вендский водоносный комплекс). Уровень грунтовых вод на момент исследований варьировал в пределах 2,4 – 3,1 м, что в абсолютных отметках составило 0,48-0,80 м. Вполне понятно, что при подъеме уровня воды в реке Нева, принимая во внимание положение Биржи на стрелке Васильевского острова, зеркало грунтовых вод будет соответствовать отметке уровня в реке. В зоне переменного увлажнения оказывается кладка верхней части фундамента из валунов изверженных пород на известковом растворе, которая по результатам обследования находится в наиболее разрушенном состоянии, что является вполне закономерным явлением. Часть фундамента из кладки плит известняка находится в зоне постоянного увлажнения – ниже наиболее низкого уровня грунтовых вод. В таблице 3.1 приведены сравнительные результаты определений химического состава грунтовых вод по данным различных исследований в районе Биржи. Следует отметить, что исследования химического состава воды, проведенные в 2015 г. являются некорректными, поскольку отбор проб воды осуществлялся без предварительной откачки. В связи с этим, следует принять во внимание архивные данные (пробы грунтовых вод, отобранные из скважин, пройденных на прилегающей к Бирже территории), согласно которым во всех пробах воды фиксируется повышенное содержание органической компоненты по величине перманганатной окисляемости ($26,0-42,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), характеризующей наличие только легкоокисляемой составляющей, т.е. только часть очень важного компонента подземных вод, определяющего окислительно-восстановительные условия.

Таблица 3.1 – Сравнительная оценка химического состава подземных вод в основании Биржи по архивным данным Треста ГРИИ 1981–1989гг. и «ПИ Геореконструкция» в 2014-2015 гг.

Наименование горизонта	Глубина горизонта, м	Содержание компонентом, мг/дм ³									Минерализация, мг/дм ³	pH*	Жесткость, ммоль/ дм ³	Окисляемость, мгО ₂ /дм ³
		Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe ^{общ}	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂ агрес.				
Исследования «ПИ Геореконструкция», 2015 год														
Грунтовые воды (безнапорные)	2,6-3,1	40,8 – 66,8	78,4-104,6	21,6 – 37,5	2,0 – 5,5	0,5 – 1,5	275,0 – 312,0	68,4 – 98,6	84,3 – 120,0	4,6 – 8,8	639,0 – 674,6	7,3 – 7,7	5,9 – 7,7	13,5 – 20,8
Напорные воды в линзе песков моренной толщи	13,2	327,5	49,6	52,5	1,0	1,5	368,2	491,0	58,2	-	1348,0	7,8	6,8	10,6
Скв. 133 Архивные данные Треста ГРИИ 1981														
Грунтовые воды (безнапорные)	2,6	506,0	200,0	158,0	2,0	сл	1049,0	686,0	413,0	16,5	3016,7	6,7	22,97	26,0
Скв. 279 Архивные данные Треста ГРИИ 1985														
Грунтовые воды (безнапорные)	2,0	366,0	375,0	83,0	4,0	сл	866,0	578,0	538	26,9	2811,0	7,1	25,6	42,0
Скв. 187 Архивные данные Треста ГРИИ 1989														
Грунтовые воды (безнапорные)	2,3	48,0	55,0	40,0	отс	0,5	290,0	98,0	34,0	25,0	565,2	8,0	6,04	38,0

Примечание: pH* - определение по результатам лабораторных исследований

В грунтовых водах отмечается высокое содержание щелочно-земельных элементов - Ca^{2+} и Mg^{2+} : 375 мг/дм^3 и 158 мг/дм^3 соответственно, что свидетельствует об их выщелачивании из кладки известняка и строительных известковых растворов. Определение рН в лаборатории свидетельствует о близкой к нейтральной обстановке. Однако в полевых условиях этот показатель на 2-3 единицы ниже за счет содержания органических кислот различного генезиса. Интенсивность растворения и выноса щелочноземельных элементов определяется низкими величинами рН и наличием во всех пробах воды агрессивного CO_2 ($16,5\text{-}26,9 \text{ мг/дм}^3$) (см. таблица 3.1).

Необходимо также учитывать изменение минерализации подземных вод. В архивной скважине № 133, которая была пройдена с западной стороны Биржи в непосредственной близости от нее, минерализация превышает 3000 мг/дм^3 , повышенные минерализации грунтовых вод отмечены и в других архивных скважинах треста ГРИИ (см. таблица 3.1).

В скв. 1 при бурении была отобрана проба воды с глубины 13,2 м, химический состав которой отвечает содержанию компонентов в горизонте песчаников, которые прослеживаются в верхней части толщи венда. Кстати величина напора этого горизонта отвечает современному положению пьезометрической поверхности вендского водоносного комплекса, интенсивный подъем которого наблюдается с начала 80-х годов прошлого века в связи с резким снижением потребления минерализованных вод рассматриваемого комплекса для технических целей. Естественное положение пьезометрической поверхности этого горизонта находится выше земной поверхности, что отвечает области питания вендского комплекса, расположенного под Выборгом на высоких абсолютных отметках. Восходящее перетекание подземных вод из глубоких горизонтов необходимо учитывать при оценке несущей способности висячих свай, которые предлагаются как один из вариантов реконструкции подземной части здания Биржи.

Поскольку при обследовании состояния подземных конструкций и проведении изысканий не проводилась оценка микробной пораженности, то были

выполнены в небольшом объеме определения наличия и численности микромицетов как основных деструкторов древесины, бетона и других строительных материалов под руководством профессора, доктора биологических наук Д.Ю. Власова (биологический факультет СПбГУ). Было выявлено 4 вида микромицетов: которые относятся к особо агрессивным видам:

Aspergillus niger

Cladosporium cladosporioides

Aspergillus versicolor

Penicillium decumbes

Наиболее опасен *Aspergillus niger*, который доминировал в пробе (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Колонии *Aspergillus niger* на среде Чапека, изолированные из пробы грунта (ИГЭ-3) основания здания Биржи

Численность колониобразующих единиц (КОЕ) составила 1200 КОЕ в одном грамме грунта, что является достаточно высоким показателем, характеризующим потенциал биодеструкторов в техногенно-контаминированных грунтах. Найденные виды микромицетов известны широкой экологической амплитудой и способны сохраняться и развиваться в наземных и подземных местообитаниях в течение длительного времени. Следует отметить, что микромицеты наиболее активно развиваются в кислой среде [185, 187]. Кроме того, в процессе микробиологических исследований в аэробных условиях на среде Чапека-Докса развивались светлоокрашенные колонии бактерий (слизистый морфотип), к которым относятся некоторые виды железooksисляющих и силикатных бактерий, разрушающие бетоны и стальные конструкции. Кроме того, были выделены сульфатредуцирующие бактерии, генерирующие сероводород,

подкисляющий грунтовые воды и агрессивен по отношению к старинным материалам, а также к бетонам и металлам.

Как уже было отмечено ранее, Биржа располагается в пределах низкой Литориновой террасы, разрез которой достаточно хорошо изучен в Санкт-Петербурге с позиции оценки состава, состояния и физико-механических свойств грунтов четвертичной толщи. Поскольку территория Биржевой площади была заболочена, а также в этой зоне следует отметить аккумулятивную деятельность Невы – относительно молодой реки, которая в современный период меняла свое русло. Соответственно следует внести некоторые коррективы в геолого-литологический разрез основания Биржи (сверху - вниз) (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Схема корректировки геолого-генетического разреза в пределах контуров здания Биржи

Геолого-генетические типы по данным изысканий ПИ Геореконструкция	Скорректированные геолого-генетические типы	Характеристика грунта
tg IV	tg IV	Насыпной грунт
m,l IV	al IV или tg IV	Пески пылеватые с иловатыми прослойками, насыщенные водой, средней плотности
		Пески пылеватые с иловатыми прослойками, насыщенные водой, плотные
		Пески средней крупности, насыщенные водой, средней плотности
		Пески средней крупности, насыщенные водой, плотные
	m,l IV	Супеси пылеватые с прослойками пылеватого песка, с примесью органических веществ, пластичные
		Супеси пылеватые с прослойками пылеватого песка, с прослоями торфа, слабозаторфованные, пластичные
	lgIII	Суглинки легкие пылеватые тонкослоистые с сажистыми примазками, текучие
		Супеси пылеватые тонкослоистые с сажистыми примазками, с прослоями пылеватого песка, текучие
gIII lz	g III lz	Пески крупные с гравием и галькой, насыщенные водой, средней плотности
		Супеси пылеватые с линзами песка, гравием и галькой, пластичные
		Супеси пылеватые, с линзами песка, гравием, галькой и валунами
V ₂ kt2	V ₂ kt2	Глины пылеватые твердые

Техногенные отложения отсыпались во все времена освоения территории, наиболее интенсивная инженерная подготовка проводилась еще в 18 веке и в начале 19 века в связи с оформлением восточной оконечности стрелки Васильевского острова. В это время были предприняты грандиозные работы по подъему территории в пределах пляжевой зоны, сложенной песками, а также частичной засыпки мелководной части Невы. Различие мощностей техногенных образований связано с удалением слабозаболоченных грунтов и общей тенденцией увеличения их мощности в сторону акватории. О чистоте песков свидетельствует достаточно высокий коэффициент фильтрации: лишь в двух случаях из семи $K_f < 1$ м/сутки, в остальных он варьирует от 2,56 до 8,89 м/сутки. По данным лабораторных исследований, при относительном содержании органических веществ от 0,04-0,06 коэффициент фильтрации составляет менее 1,0 м/сутки.

Ниже по разрезу залегают пески разномерного состава, формирование которых связано как с пребыванием шведов на берегах Невы, которые активно использовали эту территорию в допетровское время, так и с деятельностью речных вод и аккумуляцией песков на участках пойм в русле реки. Только специальные палинологические анализы могли бы помочь выяснить генезис этих песчаных отложений. Для более отчетливого представления гранулометрического состава песка использовалась классификация В.Д. Ломтадзе (рисунок 3.10) [51, 109]. По данным лабораторных исследований пески не обладают плавунными свойствами.

Данные пески следует рассматривать как надежную песчаную подушку, обладающую хорошей несущей способностью и высоким модулем общей деформации: по данным статического зондирования он увеличивается с глубиной от 30 до 40 МПа.

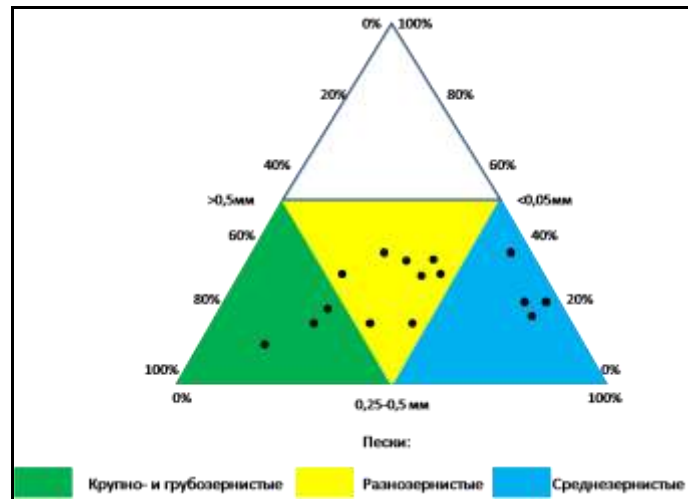


Рисунок 3.10 – Треугольная диаграмма гранулометрического состава песчаных отложений

Подошва слоя песчаных отложений изменяется в узком пределе абсолютных отметок: в разрезе I-I – южная часть – 4,0 м, II-II – северо-западная часть – 3,5-3,0 м, III-III – западная часть – 3,0-3,8 м, IV – IV восточная часть – 3,5-4,0 м.

Озерно-морские отложения представлены супесями пылеватыми слабо заторфованными или с примесью торфа. Следует отметить, закономерное изменение содержания хорошо разложившейся органики по глубине, что предопределяет изменение естественной влажности, влажности на границах текучести и пластичности, появление связности, и в свою очередь, позволяет оценить пределы текучести, пластичности и число пластичности, которое в песках с органикой варьирует от 0,06 до 0,08 (рисунок 3.11, 3.12). Среди 13 исследованных проб, влажность в 2 случаях превышает 100%, поскольку содержание органической компоненты больше 0,5, что существенно сказывается на плотности минеральной части, которая снижается до $1,98 \text{ г/см}^3$ ($W=121\%$) и $2,17 \text{ г/см}^3$ ($W=101\%$) (рисунок 3.13).

Согласно трехчленной классификации эти грунты в трех случаях могут быть отнесены к супесям легким пылеватым, в двух – к супесям тяжелым пылеватым и в одном - к пескам пылеватым, которые характеризовались влажностью $W=67\%$ и числом пластичности $I_L = 0,08$. Эти показатели лишний раз подчеркивают, что объективность числа пластичности весьма относительна

при его использовании в качестве параметра, характеризующего гранулометрический тип отложений. Показатель консистенции отвечает пластичному состоянию супесей.

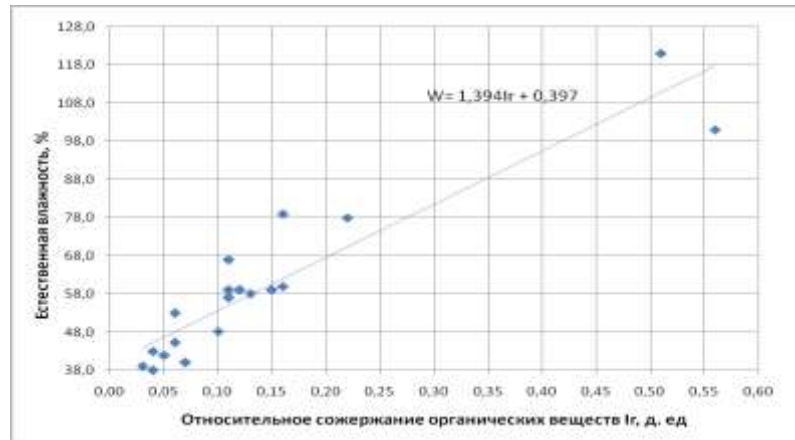


Рисунок 3.11 – Зависимость естественной влажности озерно-морских отложений от относительного содержания органических веществ (I_r), д.ед.

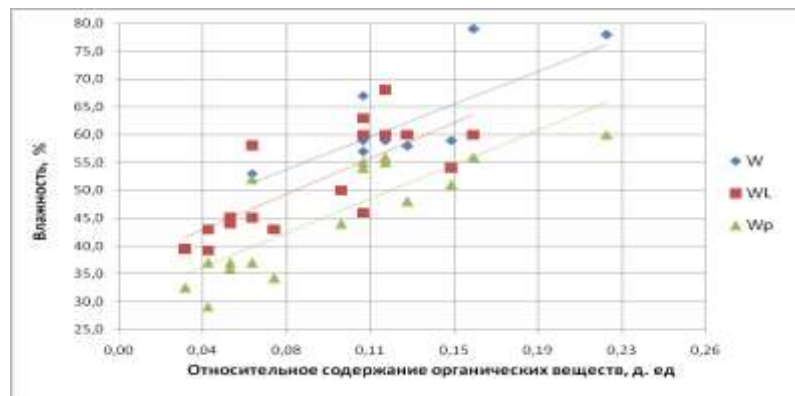


Рисунок 3.12 – Зависимость естественной влажности, влажности на границах текучести и пластичности от содержания органических веществ в озерно-морских отложениях (I_r), д.ед.

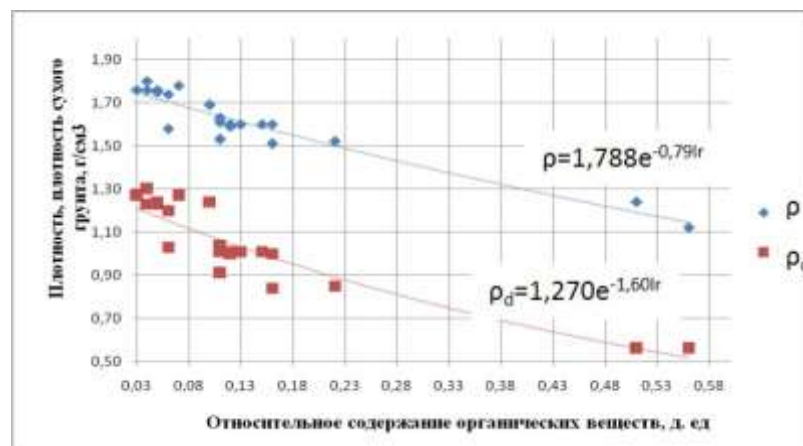


Рисунок 3.13 – Зависимости плотности и плотности скелета от содержания органических веществ в озерно-морских отложениях (I_r), д.ед.

Граница между озерно-морскими и озерно-ледниковыми отложениями хорошо прослеживается по содержанию органического вещества. Генезис последних подразумевает их отсутствие, что связано с формированием озерно-ледниковых грунтов в приледниковых бассейнах. Следует отметить, что озерно-ледниковые отложения были частично размыты речными водами или временными водотоками. Соответственно более поздние - озерно-морские отложения с органикой заполнили малые палеодолины четвертичного возраста и перекрыли озерно-ледниковые отложения вне зоны таких палеодолин. В дальнейшем вне палеодолин маломощный чехол литориновых грунтов с органикой на озерно-ледниковых отложениях был снят при ведении инженерных работ по подготовке территории либо размыт речными водами.

Озерно-ледниковые образования распространены в северо-западной части рассматриваемой территории на глубине 6,4-7,7 м (абс. отметки -2,9 - -4,56 м) и к юго-востоку выклиниваются. Специфика залегания и взаимоотношения озерно-морских и озерно-ледниковых отложений приведена на рисунке 3.15.

На рисунках 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 приведены разрезы не по контуру здания Биржи, а в пределах непосредственно его основания.

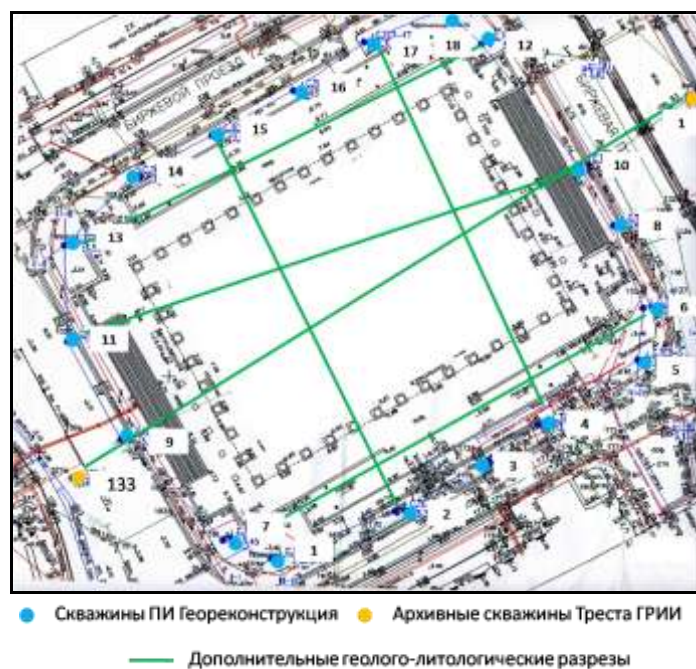


Рисунок 3.14 – Геолого-литологические разрезы в пределах основания здания Биржи с использованием архивных скважин 133 и 1

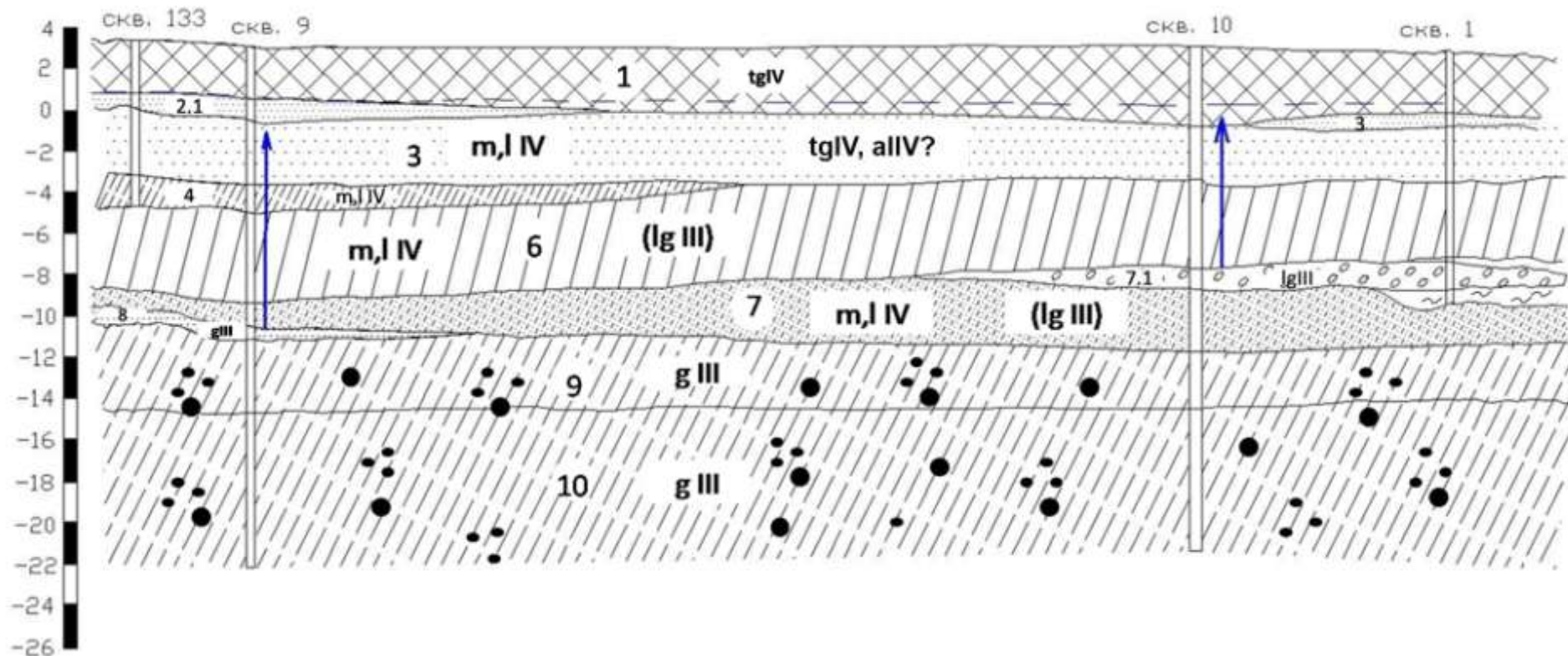


Рисунок 3.15 – Геолого-литологический разрез по линии скважин 133 (арх.) – 9 – 10 – 1 (арх.) (запад-восток)

Масштаб вертикальный – 1:200
 Масштаб горизонтальный – 1:500

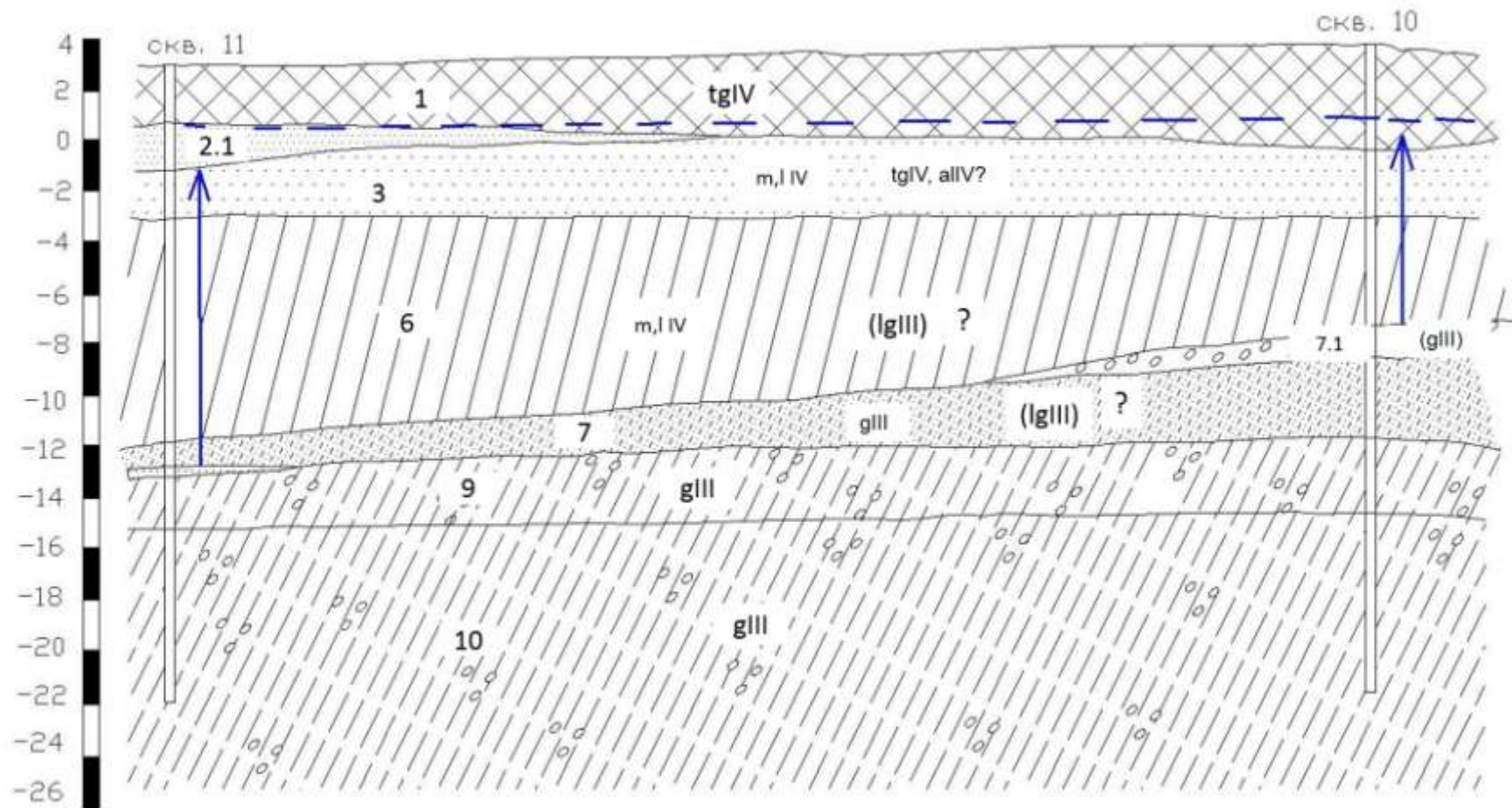


Рисунок 3.16 – Геолого-литологический разрез по линии скважин 11 – 10 (запад-восток)

Масштаб вертикальный – 1:200

Масштаб горизонтальный – 1:500

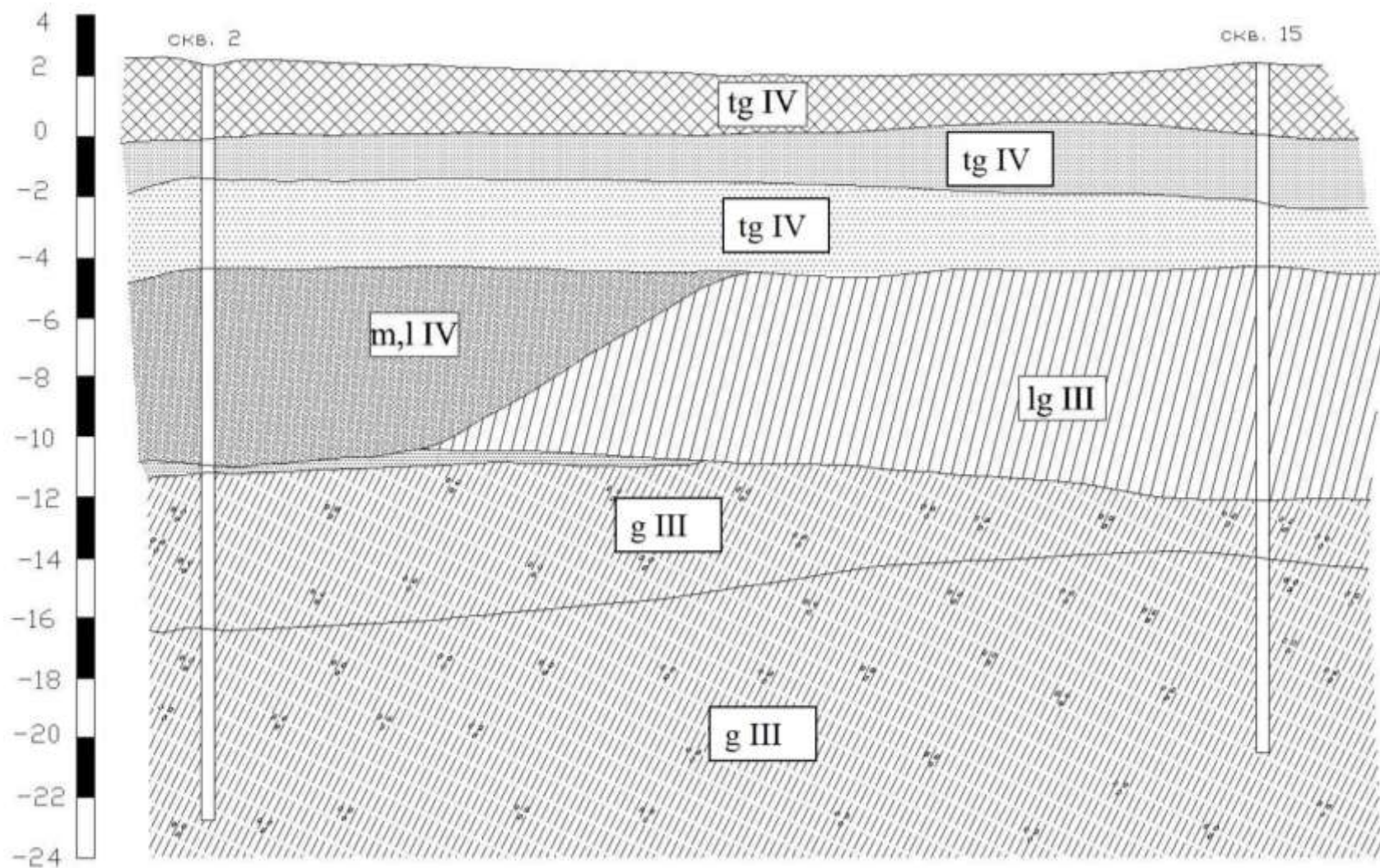


Рисунок 3.17 – Геолого-литологический разрез по линии скважин 2 - 15 (юг-север)

Масштаб вертикальный – 1:200

Масштаб горизонтальный – 1:500

Для глинистых отложений озерно-ледникового генезиса, также характерно варьирование влажности по глубине. Величина влажности тесно связана с гранулометрическим составом, и прежде всего, с содержанием глинистой фракции: при этом отмечается отчетливая тенденция в возрастании влажности грунтов при увеличении содержания тонкодисперсной фракции (рисунок 3.18).

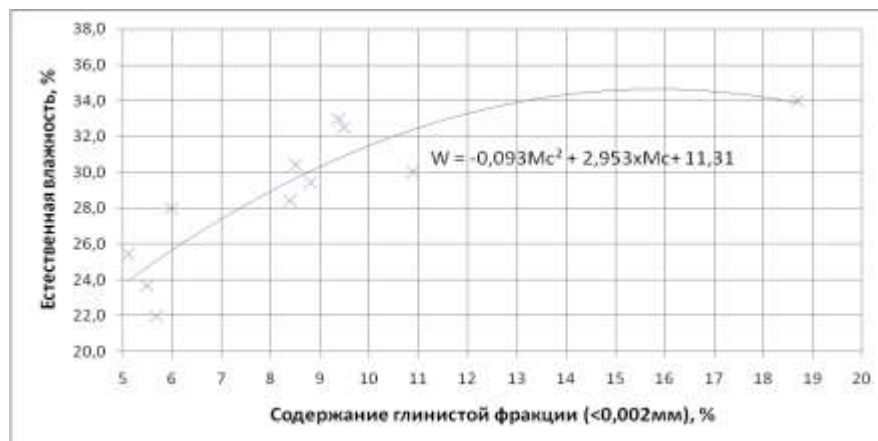


Рисунок 3.18 – График зависимости естественной влажности от содержания глинистой фракции

При проведении исследований в озерно-ледниковых отложениях были отмечены черные сажистые включения. Подобные сажистые примазки повсеместно встречаются в четвертичных грунтах в пределах глубин 5-25 м в историческом центре города. Как известно, большинство видов сульфатредукторов относятся к спорообразующим разновидностям и могут сохраняться в экстремальных условиях (наличие кислорода, недостаток питательных субстратов) в течение неопределенно длительного времени. Как уже отмечалось ранее, в процессе микробных исследований были выделены сульфатредуцирующие микроорганизмы. При добавлении питательной среды для сульфатредукторов в суспензию грунта, появлялся черный сажистый осадок, и отчетливо ощущался запах сероводорода.

Для озерно-ледниковых отложений характерно высокое значение показателя консистенции (I_L): I_L варьирует в пределах от 1,02 до 3,28, что предполагает высокую степень сжимаемости грунтов и их низкую прочность. Однако, если сравнивать состав, физическое состояние и физические свойства грунтов озерно-морских и озерно-ледниковых отложений, то характеристики

прочности должны быть близки между собой, поскольку органическая компонента формирует связность в грунте за счет органических пленок вокруг дисперсных частиц и водородных связей, характерных для этих соединений. В озерно-ледниковых грунтах органические пленки абиотического генезиса отсутствуют, вместе с тем, повышенное содержание глинистых частиц определяет также наличие сцепления. Эти грунты характеризуются развитием пластических деформаций во времени, которые снижают величину модуля общей деформации. Следует также принимать во внимание микробную пораженность всей толщи грунтов, которая негативно воздействует на их водные и механические свойства (таблица 3.3).

Особо следует остановиться на анализе моренных отложений, к которым приурочен напорный водоносный горизонт, возможно связанный с горизонтом в коренных породах. Пластичное состояние морены должно предопределять возможность развития длительно незатухающих деформаций при изменении их НДС. По результатам стабилметрических исследований по схеме НН такие моренные отложения имели величину сцепления, не превышающую 0,035 МПа, а угол внутреннего трения $\varphi \leq 5^\circ$, а также невысокие модули общей деформации грунтов $E \leq 5$ МПа (см. таблицу 3.3).

Таблица 3.3 – Показатели физического состояния и механических свойств озерно-морских и озерно-ледниковых отложений по результатам исследований

Параметры свойств грунтов	Южная и юго-восточная часть		Северная и северо-западная		Ледниковые отложения
	Озерно-морские отложения		Озерно-ледниковые отложения		
Номенклатура грунта	Супеси пылеватые с прослойками пылеватого песка, с примесью органических веществ пластичные	Супеси пылеватые с прослойками пылеватого песка, с прослоями торфа, слабозаторфованные пластичные	Суглинки легкие пылеватые тонкослоистые с сажистыми примазками и текучие	Супеси пылеватые тонкослоистые с сажистыми примазками с прослоями пылеватого песка текучие	Супеси пылеватые с линзами песка, с прослоями суглинка, гравием
Плотность ρ (г/см ³)	1,75	1,58	1,93	2,01	2,17

Продолжение таблицы 3.3					
Влажность W, %	43	62	31	25	16
Коэффициент пористости, e	1,148	1,61	0,844	0,673	0,43
Показатель текучести I _L	0,87	1,00	1,30	2,02	0,60
Удельное сцепление c, МПа	0,022	0,023	0,020	0,022	0,035
Угол внутреннего трения φ, град	<3		→0		<5

*Примечание: Приведены средние значения показателей физико-механических свойств грунтов. Число определений для физических свойств - 14 и для показателей сопротивления сдвигу - 5.

Архитектурно-исторические памятники, в том числе и здание Биржи исчерпало свой эксплуатационный ресурс и, следовательно, дополнительные деформации, которые будут развиваться во время и после завершения реконструкционных работ, могут привести к обострению ситуации, связанной с обеспечением длительной устойчивости и сохранением здания Биржи.

Известно, что величина давления от сооружения под подошвой фундаментов варьирует в пределах контуров здания от 0,10 – 0,12 МПа.

Расчет первого критического давления p_1 , выполненного по формуле Прандтля по слабому слою приводит к резкому снижению величины допускаемого давления по критерию отсутствия зон пластических деформаций до 0,120-0,123 МПа.

$$p_1 = \pi c + \gamma h_\phi, \quad (3.1),$$

где c – величина сцепления (0,022 МПа), γh_ϕ – пригрузка от заглубления фундамента (0,049 МПа).

Взвешивание грунтов приводит к занижению значений p_1 , поскольку давление под подошвой фундамента в разных частях здания Биржи значительно варьирует и может превышать рассчитанную выше величину p_1 , то грунты основания вступают в фазу пластического деформирования, в которой

возможность затухания деформаций имеет проблематичный характер, особенно в грунтах с повышенным содержанием органической компоненты.

В настоящий момент рассматривается два варианта реконструкции здания Биржи.

Первый вариант: предполагается усиление фундаментов здания путем пересадки на буроинъекционные сваи, предварительно с инъекционным закреплением булыжной кладки ленточных фундаментов наружных стен стилобата и трещин здания, восстановлением гидроизоляции. Нагрузка на предполагаемые сваи усиления 30-40 т.

Вместе с тем, необходимо обратить внимание на особые инженерно-геологические условия территории расположения здания Биржи, которые определяются рядом природных и техногенных факторов - длительность ее инженерно-хозяйственного освоения, отразившееся на экологическом состоянии подземной среды и изменении строения верхней части разреза, что требует нетривиального подхода к оценке устойчивости здания Биржи при ее взаимодействии с многокомпонентным подземным пространством:

1 - коррозионная способность грунтов, содержащих органические остатки, а также контаминанты органического и неорганического генезиса;

2 - воздействие подземных вод с позиции формирования напряженного состояния: взвешивающий эффект напорных вод, их восходящее перетекание, снимающее трение по боковой поверхности свай;

3 - окислительно-восстановительные и кислотнo-щелочные условия подземных вод, определяющие их агрессивность по отношению к конструкционным материалам, а также твердению бетонов и строительных растворов в подземной среде, наличие органического вещества формирует восстановительные условия, снижает рН, что способствует замедлению твердения бетонов и растворов, а также растворению и выщелачиванию неустойчивых соединений из цементов, бетонов и растворов; восстановительные условия определяют развитие электрохимических процессов в стальных конструкциях (таблица 3.4);

Таблица 3.4 – Требования для предварительной оценки воды для твердения бетонов [46]

Наименование показателя	Требование	Полученные результаты
Запах воды	По шкале от 1 до 5 баллов	Запах сероводорода
Кислотно-щелочные условия	$12,5 > \text{pH} > 4$	$\text{pH} = 4$
Окисляемость	Не более $15 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$	$26-42 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$

4 - деятельность микробиоты за счет накопления и сорбции живых и мертвых клеток микроорганизмов, а также продуктов их метаболизма на дисперсных частицах в грунтах, способствует их переходу в неустойчивое состояние, генерация органических и неорганических кислот и газов создает условия для развития биокоррозионных процессов конструкционных материалов.

5 - грунты несущего слоя свайного фундамента, имеющие пластический характер деформирования, могут давать длительную и незатухающую осадку во времени, которая характеризуется неравномерностью ее развития.

6 – присутствие озерно-морских отложений с повышенным содержанием органики, может привести к эффекту нулевого и/или отрицательного трения за счет защемления (зависания) свай в песчаном слое, который обычно рассматривается в торфах и заторфованных грунтах. Снятие трения по боковой поверхности свай может привести к неравномерному повышению веса здания Биржи.

7 – озерно-морские и озерно-ледниковые отложения относятся к весьма неустойчивым по отношению к динамическим нагрузкам даже с малой амплитудой частоты воздействия, легко переходя в состояние «тяжелой» жидкости, что может повлечь за собой осложнения при производстве работ в подвале здания: бурение скважин и нагнетание цементных растворов под давлением.

Зданию Биржи 250 лет. Долгое время распределяющая плита, установленная на деревянные лежни, выполняла свои функции перераспределения веса здания и снижения давления под подошвой фундамента. Следует принять во внимание, что большую роль в обеспечении длительной

устойчивости здания играют слои техногенных песков, качество и несущая способность которых возрастает с глубиной.

В связи с этим, необходимо предложить второй вариант реконструкции здания Биржи: омоноличивание плитного фундамента, который приведет к максимальному снижению давления под подошвой фундамента, снятию неравномерности развития деформаций и их стабилизации.

При реконструкционных работах необходим подбор материалов, который будет обеспечивать их качество и нормативные показатели по прочности, водостойчивости, коррозионной стойкости в период проведения ремонта и их сохранение в эксплуатационный период.

3.2 Основные инженерно-геологические и гидрогеологические аспекты причин деформации комплекса зданий Нового Эрмитажа в условиях длительной контаминации подземного пространства

Новый Эрмитаж – первое здание в России, выполненное в стиле неогрек и построенное специально для хранения и постоянных выставок обширного собрания художественных коллекций. Автором проекта был баварский архитектор Лео фон Кленце и руководителем работ архитектор В.П. Стасов.

Основной корпус этого музея размещается на месте бывшего Шепелевского дворца (арх. И.Е. Старов), и фланкируется трехэтажными зданиями: со стороны Зимней канавки план размещения корпуса был определен лоджиями Рафаэля (арх. Дж. Кваренги), а корпус, параллельный Малому Эрмитажу, был возведен на фундаментах бывших конюшен (арх. Ю. Фельтен), эти постройки датированы концом XVIII века (рисунок 3.19). Освящение музея и его открытие состоялось 5 февраля 1852 года [113].



Рисунок 3.19 – План зданий Эрмитажного комплекса в XVIII в.

По проекту под несущие стены Нового Эрмитажа были устроены ленточные фундаменты из кирпичной кладки на извести, шириной 373 см, которые были установлены на плите из путиловского известняка, уложенной на деревянные лежни со шпонками (рисунок 3.20).

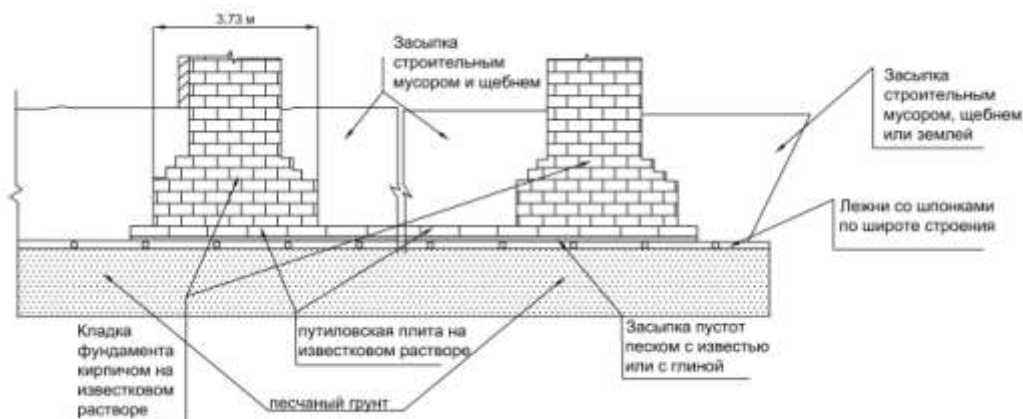


Рисунок 3.20 – Схема конструкции фундаментов Нового Эрмитажа по проекту архитектора В.П. Стасова, принятого в 1840 году

Территория комплекса зданий приурочена к левому склону глубокой погребенной долины Пра-Невы в глинах верхнего венда, которая заполнена слабыми четвертичными отложениями мощностью более 70 м (рисунок 3.21). В несущем слое под фундаментами в разрезе основания Нового Эрмитажа выделяются пески пылеватые озерно-морского генезиса, в которых прослеживается заторфованность и линзы торфа, отмечается присутствие органики, ниже залегают анциловые супесчаные отложения, а в самой нижней

части разреза вскрыты супесчаные и суглинистые озерно-ледниковые отложения Балтийского озера [197].

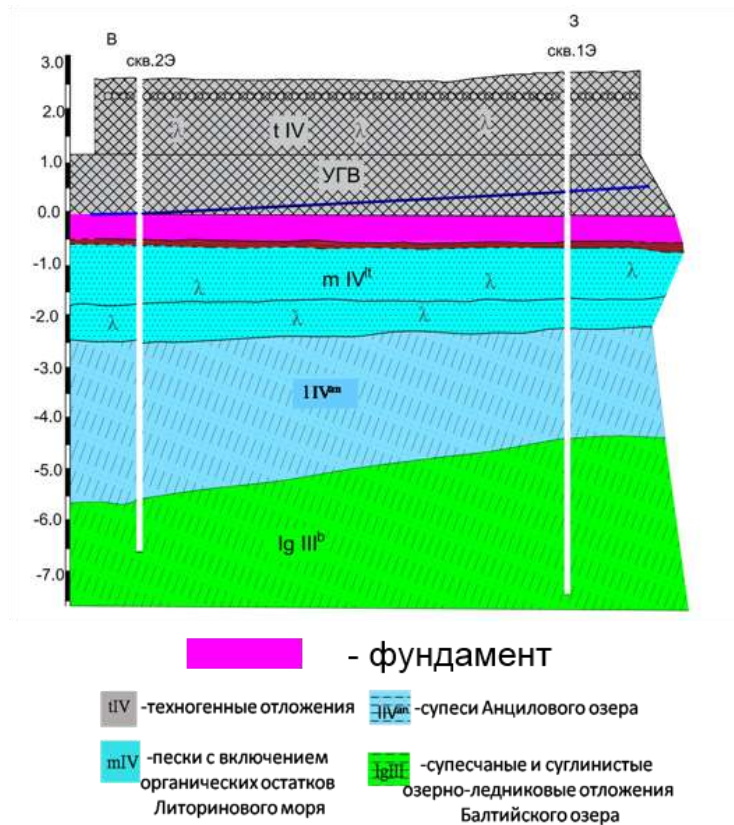


Рисунок 3.21 – Геолого-литологический разрез основания Нового Эрмитажа

История хозяйственного освоения рассматриваемой местности насчитывает несколько сотен лет. Еще в 16-17 вв между реками Мойкой и Фонтанкой располагалась деревня Первушкино, а верховья р. Мойки представляли собой сильно заболоченную низменную местность. На территории будущего Летнего сада находилась усадьба шведского ротмистра Эриха Бернта фон Конау.

Зона размещения комплекса зданий Нового Эрмитажа претерпевала значительные изменения на протяжении трех столетий. В начале XVIII века, с момента основания Санкт-Петербурга на нынешней Миллионной улице были построены жилые дома, хозяева которых были представителями знатных родов (рисунок 3.22, 3.23) [189, 191].



Рисунок 3.22 – Развитие застройки на участке будущего размещения Эрмитажного комплекса зданий: Зимнего дворца, Нового Эрмитажа, Малого и Большого Эрмитажей в 1710-1711 гг.



Рисунок 3.23 – Развитие застройки на участке будущего размещения Эрмитажного комплекса зданий: Зимнего дворца, Нового Эрмитажа, Малого и Большого Эрмитажей в 1726-1737 гг.

Наиболее активное поступление контаминантов в обводненную толщу грунтов наблюдалось в конце XVIII – начале XIX веков, когда на месте западного корпуса Нового Эрмитажа размещались конюшни и манеж, а в центре Большого двора между конюшнями и Лоджиями Рафаэля располагался Мастерской двор, на месте которого в 1829 году были построены дежурные конюшни (арх. С.Л. Шустов) (рисунок 3.24, А; Б).

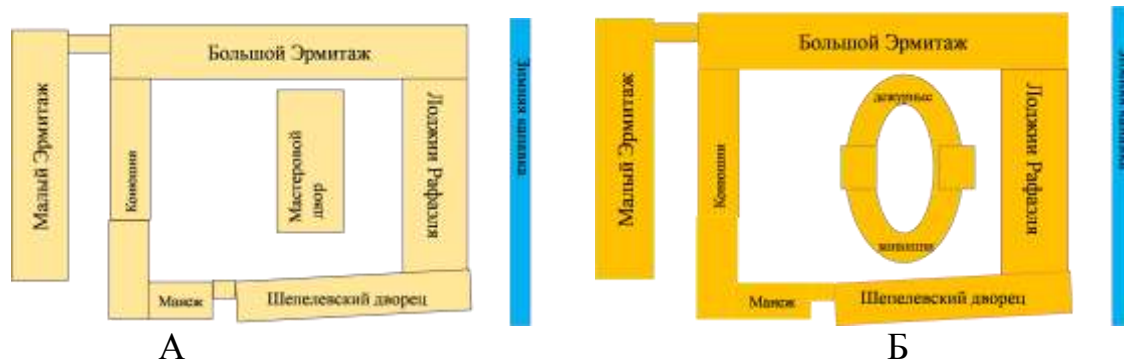


Рисунок 3.24 – Источники контаминации грунтовых вод и грунтов:
 А - с конца XVIII века до 1826 года; Б - с 1829 до 1840 года

Таким образом, до 1840 года загрязнение подземного пространства шло, в основном, за счет абиогенных и биогенных компонентов функционировавших конюшен и хозяйственно-бытовых стоков Шепелевского дворца. Известно, что количество органических и биогенных веществ, которые образуются при содержании 1 лошади, сопоставимы с отходами жизнедеятельности десяти человек [119].

В пределах зоны основания зданий Нового Эрмитажа выделяется водоносный горизонт грунтовых вод, гидродинамический и гидрохимический режим которого зависит от положения уровня воды в Неве и соответственно в Зимней канавке, интенсивности выпадения атмосферных осадков (в условиях отсутствия асфальтового покрытия во дворах Эрмитажа) и утечек из инженерных сетей (рисунок 3.25).

Грунтовые воды за счет их разбавления имеют невысокую величину сухого остатка, не превышающую 500 мг/дм^3 , однако содержание ионов аммония – как индикатора канализационного загрязнения достигает $84,6 \text{ мг/дм}^3$, фиксируется достаточно высокое содержание легкоокисляемых органических соединений по величинам перманганатной окисляемости (до $98 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) и общее количество органики по химическому потреблению кислорода (до $120\text{-}130 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) (таблица 3.5).

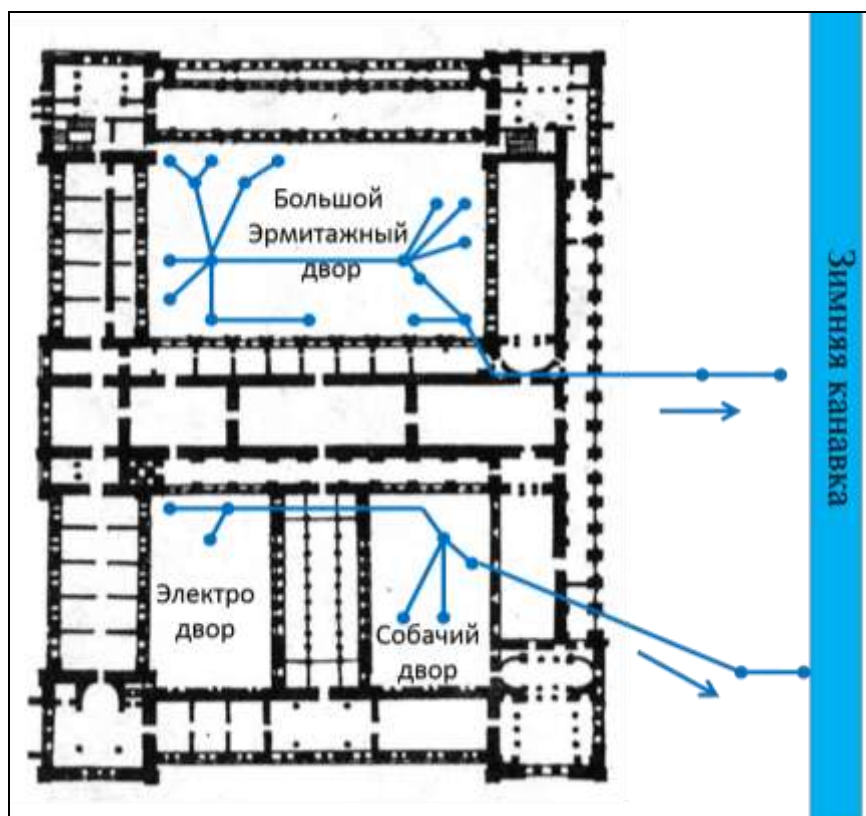


Рисунок 3.25 – Действующая система канализационной сети [197]

Наличие органических соединений предопределяет анаэробное состояние водонасыщенной грунтовой толщи. Загрязнение грунтовых вод за счет утечек фекальных стоков имеет свою специфику, определяемую, прежде всего их составом. Известно, что в 1 мл таких стоков находится $10^7 - 10^8$ клеток микроорганизмов [59].

Таблица 3.5 – Химический состав грунтовых и речных вод

Определяемый компонент	Грунтовые воды	Дренажно-ливневой колодец	Зимняя канавка	Река Нева в створе Зимней канавки
Eh, мВ	<35	187	218	205
pH	6,85-8,90	6,50	6,90	6,80
Содержание макрокомпонентов, мг/дм ³				
Ca ²⁺	20,0 – 26,0	4,0	4,0	2,0
Mg ²⁺	4,8-12,0	3,6	1,2	2,4
Na+K	50,6-108,1	13,8	29,7	20,7
NH ₄ ⁺	25,2-84,6	12,6	1,4	1,1
HCO ₃ ⁻	341,6-366,0	66,0	48,8	48,8
SO ₄ ²⁻	28,7-83,0	38,1	24,6	10,6
Cl ⁻	35,5-63,8	14,2	10,6	7,1
NO ₂ ⁻	0,05-0,10	0,1	0,01	0,01
NO ₃ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00
Содержание соединений железа, мг/дм ³				
Fe ²⁺	0,20-0,50	0,20	0,01	0,01

Продолжение таблицы 3.5				
Fe ³⁺	0,05-0,50	0,05	0,09	0,09
Сухой остаток, мг/ дм ³	450,0-500,0	100,0	115,0	70,0
Окисляемость перм. мгО ₂ /дм ³	30,0-97,6	26,0	76,0	40,0
Окисляемость бихр., мгО ₂ /дм ³	68,0-130	не опр	не опр	не опр.
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	1,15-9,57	не опр	не опр	не опр.
СО ₂ агр., мг/дм ³	4,4-30,8	0,0	0,0	0,0

Как уже отмечалось ранее, значения рН грунтовых вод замерялось в лабораторных условиях, что привело к некоторому повышению его величины, обычно различие с полевым определением этого параметра составляет 2-3 единицы в сторону уменьшения рН в условиях низких значений Eh. Исследования показали, что грунтовые воды, характеризующиеся как слабокислые, нейтральные или слабощелочные, отличаются по своему химическому составу от вод в подвальных помещениях, имеющих ярко выраженную щелочность, величина рН варьирует в пределах 12,20-13,45 [197]. Такая щелочность определяется растворением известковых растворов из кирпичной кладки, а также разрушением плиты известняка, на которую поставлены ленточные фундаменты.

Наличие болотных отложений в разрезе основания и специфика загрязнения подземной среды привела к активному развитию микроорганизмов и их накоплению в грунтовой толще. Клетки микроорганизмов и продукты их метаболизма сорбируются и/или адгезируются на дисперсных частицах грунта. Микробная пораженность грунтов подтверждается количеством микробной массы, которая определялась по содержанию микробного белка с использованием биохимического метода М. Бредфорда (рисунок 3.26) [60].

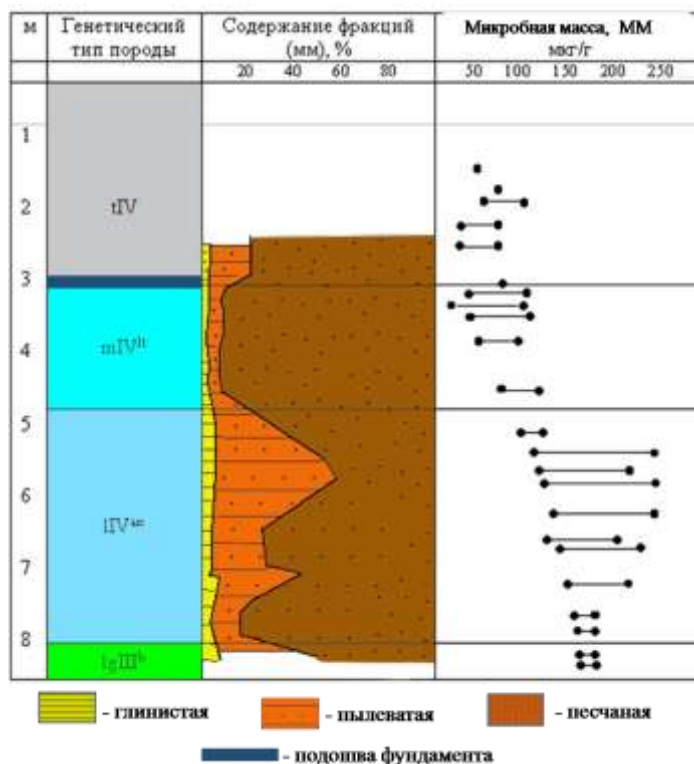


Рисунок 3.26 – Характер изменения гранулометрического состава песчано-глинистых отложений и содержания суммарного белка в основании

Существенно повышенное содержание суммарного белка в песчаных породах разреза основания приводит к трансформации состава, состояния и физико-механических свойств грунтов под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, что сопровождается проявлением ярко выраженных плавунных свойств в этих песках [142]. Этот вывод подтверждается исследованиями седиментационного объема, составляющего более 16 см³. Как следствие таких процессов в песчаных грунтах фиксируется низкая проницаемость. Коэффициент фильтрации этих песков можно было определить только при действии градиента напора, равного 20, при этом его величина варьировала в пределах 10⁻² – 10⁻⁴ м/сут. Коэффициент фильтрации супесчаных отложений снижается до 10⁻⁵ м/сутки, единичные значения достигали 10⁻⁸ м/сутки (рисунок 3.27) [59, 63].

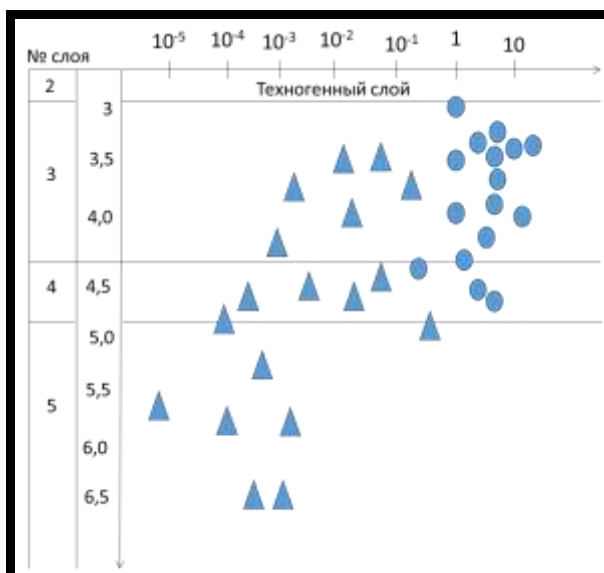


Рисунок 3.27 – Характер распределения коэффициента фильтрации грунтов разреза основания Нового Эрмитажа по глубине:

▲ - при естественной влажности; ● - после прокаливания

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил получить определенные закономерности изменения сопротивления сдвигу и показателей деформационных свойств: пластичные и заторфованные супесчаные прослои следует рассматривать как квазипластичные разности – их прочность характеризуется только сцеплением, изменяющемся в пределах 0,005-0,01 МПа. В водонасыщенных песчаных отложениях отмечается наличие сцепления за счет формирования на дисперсных частицах органической пленки и снижение угла внутреннего трения. Так, для среднезернистых, средне-мелкозернистых песков сцепление составляет 0,01-0,014 МПа, $\varphi=18-21^\circ$. По мере увеличения содержания тонкозернистой и пылеватой фракции параметр c возрастает до 0,025 МПа, а угол внутреннего трения снижается до $13-16^\circ$. При бурении скважин и проходке шурфов в песках отмечалась биохимическая газогенерация [197].

Низкая проницаемость песчано-глинистых отложений, длительная микробиологическая деятельность способствует более полному протеканию таких процессов как ионный обмен, сорбция, трансформация минеральной составляющей, образование новых соединений. В анаэробных условиях наблюдается переход металлов с переменной валентностью из окисной формы в закисную, легко растворимую. Так, восстановление железа вызывает

диспергацию глинистого грунта при одновременном разрушении цементационных связей, что предопределило снижение прочности и величины модуля общей деформации дисперсных грунтов.

С целью получения информации о состоянии кирпичной кладки фундаментов была пройдена 21 буровая скважина колонковым способом по 4 створам, положение которых задавалось с учетом времени возведения фундамента и состояния конструкций здания. Расположение скважин, их нумерация и направление створов приведены на рисунке 3.28 [197].

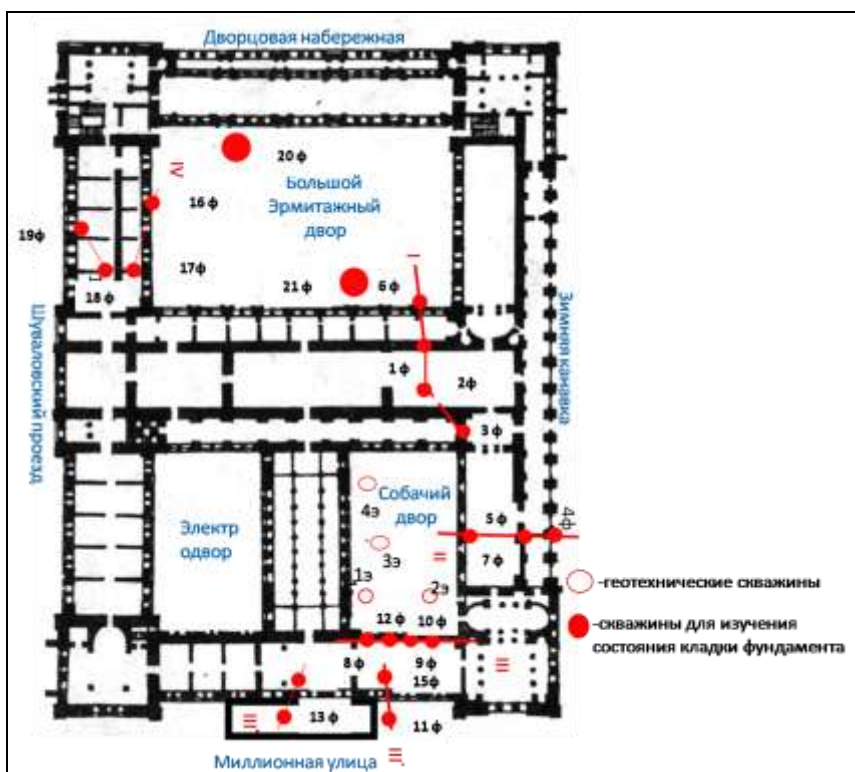


Рисунок 3.28 – Схема расположения скважин для оценки состояния кладки фундаментов на территории Нового Эрмитажа

Выполненные исследования позволили представить общую картину разрушения фундаментов Нового Эрмитажа и выявить некоторые закономерности дезинтеграции материала кладки по всем пройденным створам, оценивая степень сохранности извлеченного при бурении скважин керна (рисунок 3.29). Состояние кирпичной кладки фундаментов оценивалось как удовлетворительное при условии, что высота керна соответствовала толщине кирпича. Доля такого керна составила 53% для фундаментов внутреннего корпуса Нового Эрмитажа. Неудовлетворительная степень сохранности керна, фиксируемая по разрушению

кирпича до состояния обломков размером < 5 мм, была определена для фундаментов южного корпуса (поперечный профиль под портиком с Атлантами) – 83% и наиболее старых фундаментов бывших конюшен (западное здание) – 78%. В процессе бурения было также установлено, что плита известняка разрушена до состояния «муки», а деревянные лежни поражены микромицетами (таблица 3.6) [197].

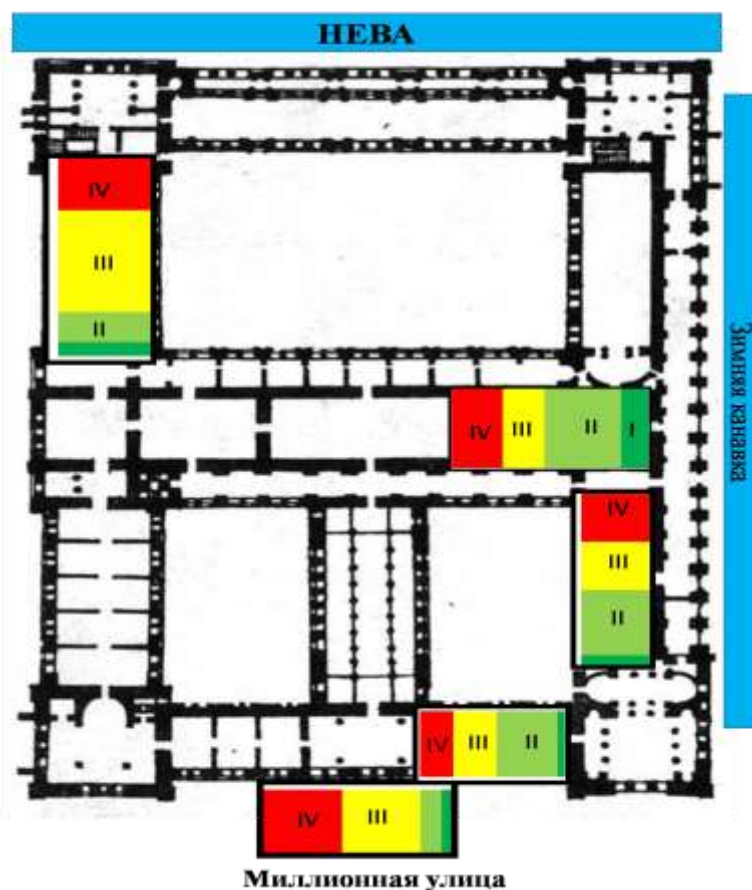


Рисунок 3.29 – Состояние кирпичной кладки фундаментов (Категории состояния кирпичной кладки даны в таблице 3.6)

Анализируя выделенные типы дезинтеграции материала кладки по отдельным скважинам и створам можно отметить, что наибольшая степень разрушения кирпича отмечалась в скв. 13ф и 14ф, расположенных под портиком. Лежни сохранились в виде отдельных фрагментов, смешанных с глинистым материалом, фиксируется изменение цвета, свидетельствующее о грибковой пораженности: серо-синий – сумчатые и некоторые виды дейтеромицетов, зеленый – при развитии вида *Chlorosplenium*, красный разных оттенков – грибами пениофора и фузариями.

Таблица 3.6 – Таксоны по характеру разрушения материала кладки фундаментов

Таксон по характеру разрушения			Признаки сохранности материала кладки в процессе бурения	
I			Сохраняется полная толщина кирпича ($h_k = 6$ см) и частично вязущего раствора кладки	
II	II ^а		$h_d \geq \frac{1}{2} h_k$	Дискование кирпича и вязущего раствора кладки
	II ^б		$\frac{1}{4} h_k \leq h_d < \frac{1}{2} h_k$	
	II ^в		$h_d < \frac{1}{4} h_k$	
III	III ^а		Крупные (щебень и крупная дресва)	Незаконмерная дезинтеграция кирпича и раствора
	III ^б		Мелкая (дресва)	
IV			Полное разрушение материала кладки до тонкодисперсного состояния	

Примечание: h_d – толщина керна (диска), h_k – толщина кирпича

Результаты этих исследований подтверждались наличием трещин с самым большим раскрытием со стороны Миллионной улицы справа от портика на внутренней стене здания, одна из них прослеживалась от цоколя здания, проходила через первый этаж и далее по диагонали по второму этажу вплоть до карниза. Позднее эти трещины были заделаны и укреплены металлическими скобами, но в залах первого и второго этажей продолжает и интенсифицируется развитие трещин в стенах здания и потолочных конструкциях (рисунок 3.30) [193].

Еще ранние исследования под руководством профессора Дашко Р.Э. показали, что основной причиной интенсивной трансформации кирпича является биокоррозия, особенно при воздействии грунтовых вод, загрязненных канализационными стоками. В водных вытяжках из разрушенной фундаментной кладки содержание сульфатов достигало $6414,8$ мг/дм³, и нитратов до $8,0$ мг/дм³ за счет деятельности тионовых и нитрифицирующих бактерий соответственно.

Подтверждением вышесказанному служат высокие значения содержания микробной массы (до 43 мкг/г) для кирпича как гидрофобного материала [59].



Рисунок 3.30 – Трещины в несущих конструкциях со стороны Миллионной улицы (фото автора, 2014 г.)

Таким образом, наличие слабых неравномерно-сжимаемых грунтов в основании Нового Эрмитажа, постепенное снижение их несущей способности, за счет микробной пораженности, колебания уровня грунтовых вод, прогрессирующее разрушение фундаментов приводят к развитию больших по величине абсолютных и относительных осадок здания, что вызывает образование трещин в стенах, а также в других несущих конструкциях – Атлантах (рисунок 3.31) [4].



Рисунок 3.31 – Трещины в несущих конструкциях – ступня Атланта (фото автора, 2014 г.)

Выполненное в конце XX века инъекционное закрепление фундаментов с помощью глинисто-цементных растворов не способствовало стабилизации деформаций зданий, поскольку глинисто-цементные растворы в условиях высокого содержания органических соединений (перманганатная окисляемость -

30,0-97,6 мгО₂/дм³) не твердеют [46]. Был проведен эксперимент в подвалах корпуса Нового Эрмитажа со стороны Миллионной улицы: в специально пробуренную скважину инъецировался цементный раствор с маркой по прочности 40. За три месяца не наблюдалось его твердения: раствор сохранил пластичную консистенцию, хотя влажностной режим его упрочнения во времени был оптимальным [197].

В настоящее время, особенно активное развитие трещин отмечается в Южном корпусе Нового Эрмитажа со стороны Миллионной улицы, в разрезе основания которого вскрыты линзы торфов и в наибольшей степени разрушены фундаменты. В залах первого и второго этажей повсеместно фиксируются трещины не только в стенах (внутренних и наружных), но и в потолочных перекрытиях. В некоторых случаях трещины развиваются по барельефам и художественным росписям, имеющим культурную и историческую ценность (рисунок 3.32).



Рисунок 3.32 – Трещина в барельефе несущей стены здания Нового Эрмитажа (фото автора, 2014 г.)

Здания Нового Эрмитажа после реставрации испытывают большие и неравномерные осадки, приводящие к формированию трещин в стенах, что свидетельствует о необходимости организации комплексного обследования и мониторинга, включающего не только геодезический блок, но в обязательном порядке специализированные наблюдения за динамикой снижения несущей способности грунтов и механизмами разрушения фундаментов и стен подвалов.

Следует установить степень физико-химической, химической и биохимической агрессивности подземной среды по отношению к строительным материалам существующих конструкций, а также обосновать подбор материалов для реконструкционных и реставрационных работ. Кроме того, ремонтные работы должны сопровождаться контролем за состоянием подземных вод, в том числе степенью и характером изменения их гидродинамического и гидрохимического режима, а также за агрессивностью грунтовых вод.

Полученный объем информации в конце 20 и 21 веков дает возможность сделать предварительное заключение о причинах неудовлетворительного состояния зданий Нового Эрмитажа и обосновать расположение пунктов наблюдения и контроля сети комплексного мониторинга, результаты которого позволят с наибольшей степенью достоверности и надежности подготовить проект реконструкции этого архитектурно-исторического памятника и всемирно известного музея.

3.3 Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование реконструкции и реставрации храма Пресвятой Троицы с учетом истории контаминации подземной среды в 16-19 веках

В настоящее время стоит вопрос о необходимости обеспечения устойчивости храма Пресвятой Троицы с учетом инженерно-геологических, гидрогеологических и экологических условий подземной среды и реконструкции его подземной части.

Церковь Пресвятой Троицы расположена на правом берегу реки Невы в пределах юго-восточной части Санкт-Петербурга и является подворьем Иоанно-Богословского Черемнецкого монастыря. Церковь была построена в 1862 году как скит Александро-Невской Лавры. Автором проекта храма, выполненного в русско-византийском стиле, был архитектор Г.И. Карпов [147].

В середине XIX века конструктивную основу обследуемого крестово-купольного храма представляла трехпролетная арочно-стоечная система с пятью

главами. Романский портал храма сочетался с шатровым завершением главного купола.

В 30-х годах XX века церковь подверглась частичному разрушению, были утрачены венчающие шатры и главы (рисунок 3.33).



1862 год



2016 год

Рисунок 3.33 – Храм Пресвятой Троицы

По проекту под несущие стены храма Пресвятой Троицы были устроены ленточные фундаменты из бутовой кладки на извести шириной 3,5 м. Фундаменты были установлены на плите из путиловского известняка, уложенной на деревянные лежни со шпонками. Глубина заложения плиты составляет 4,4 м. Такой тип фундаментов был широко распространен в XIX веке при строительстве сооружений различного назначения, в том числе административных зданий, дворцов и жилых домов [89]. Проведенное обследование храма показало, что фундаменты характеризуются интенсивным разрушением за счет растворения и частичного выщелачивания связующего кирпичной кладки – извести, а также путиловской плиты, которая служила распределяющей конструкцией. Кроме того, при осмотре были обнаружены обломки известняка и остатки деревянных лежней. Подвалы церкви постоянно подтапливаются, и служба АХЧ (административно-хозяйственная часть) ведет откачку вод из подвальных помещений.

В настоящее время храм Пресвятой Троицы находится в предаварийном состоянии, о чем свидетельствует наличие сквозных трещин различного направления и раскрытия в несущих конструкциях (стенах), интенсивность

которых будет только возрастать, что указывает на необходимость принятия и организации мер по улучшению устойчивости здания, прежде всего усиление его фундаментов (рисунок 3.34, 3.35).

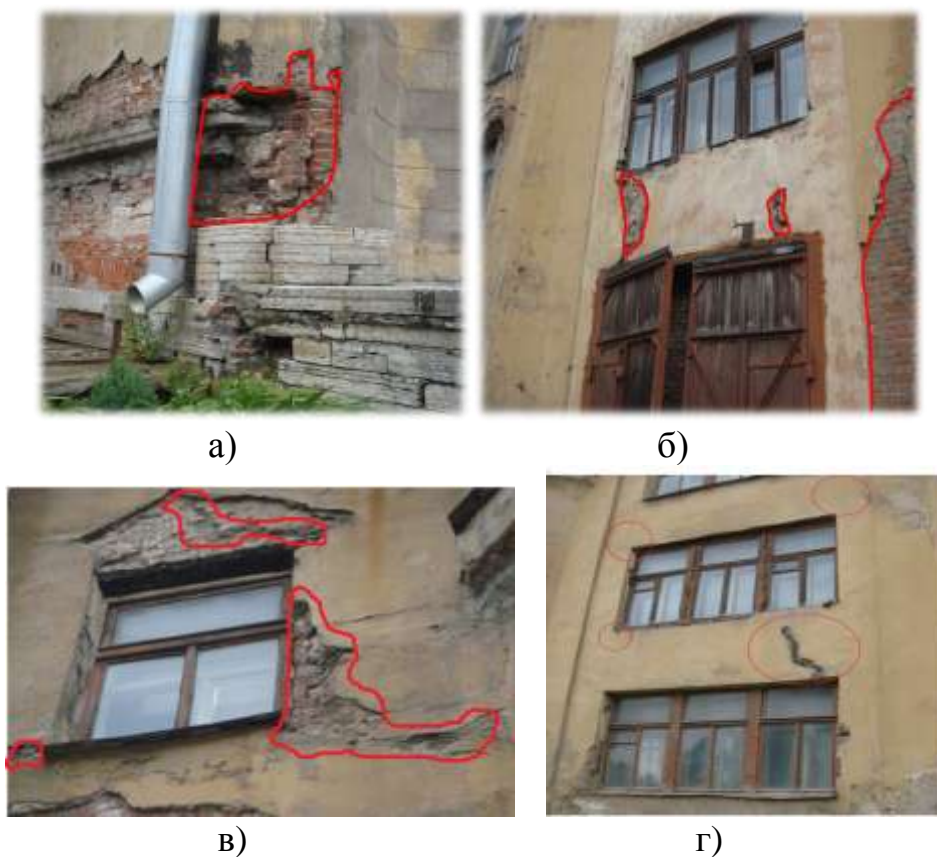


Рисунок 3.34 – Состояние несущих и наружных стен здания церкви:
 а - юго-западная сторона; б, в - юго-восточная сторона; г – северо-западная сторона (июль 2015 г., автор фото Сальников П.М.)



Рисунок 3.35 – Фото деформированных ступеней крыльца со стороны входа в храм (июль 2015 г., автор фото Сальников П.М.)

Особенности геолого-литологического разреза основания и гидрогеологические условия

Здание церкви расположено в пределах территории с абсолютными отметками 4,8–5,2 м, которая приурочена к склону погребенной долины Пра-Невы. Разрез четвертичных отложений характерен для нижней Литориновой террасы (рисунок 3.36). Несущим горизонтом для существующих фундаментов церкви служат озерно-морские суглинки, которые залегают на озерно-ледниковых грунтах, а в самой нижней части разреза бурением вскрыты моренные образования.

В пределах участка выделяется два водоносных горизонта. Первый безнапорный горизонт приурочен к современным насыпным грунтам (tgIV) и слабозаторфованным грунтам озерно-морского (mlIV) генезиса и располагается на глубине 0,6–0,8 м, то есть фундаменты церкви относятся к подтопленным. Воды второго водоносного горизонта вскрыты в песчаном слое (gIIIos) осташковской морены на глубине 19,8 м. Величина напора соответствует уровню воды в р. Неве и равна 15 м (см. рисунок 3.36).

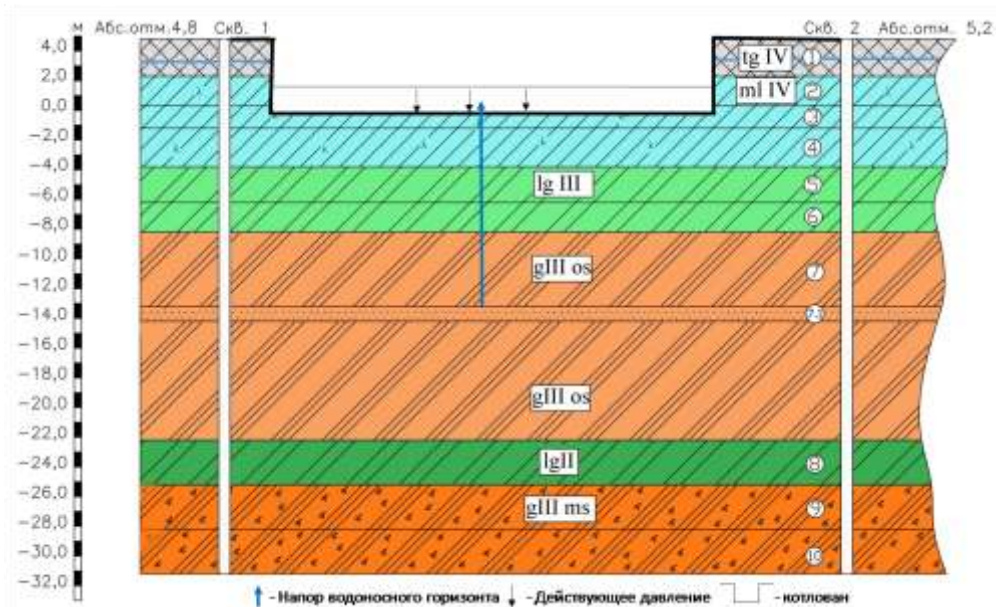


Рисунок 3.36 – Геолого-литологический разрез основания церкви Пресвятой Троицы: tgIV – техногенные отложения; mlIV – озерно-морские грунты; lgIII – озерно-ледниковые образования Балтийского озера; gIII os – ледниковые отложения осташковского горизонта; lgII – озерно-ледниковые отложения московской морены; gIII ms – моренные отложения московского горизонта. Слои 1–10 – инженерно-геологические элементы (ИГЭ)

Формирование химического состава грунтовых вод происходило под воздействием ряда природных и техногенных факторов и связано с историей освоения рассматриваемой местности [61].

По данным картографических материалов в XIV веке эта территория была заболочена, а с XV века использовалась для различных хозяйственных нужд (таблица 3.7). Известно, что в 1500 г. здесь располагалась деревня Йервис, которая во времена Новгородского правления называлась Нижним Омутом на Неве, а в допетровский период размещалось шведское кирпичное производство. В начале XVIII века эти земли были подарены Петром I Александро-Невской Лавре, и монахи частично возобновили хозяйственную и промышленную деятельность [147]. Однако наиболее активное поступление контаминантов наблюдается со стороны Киновеевского кладбища, действующего с 1848 года, которое на протяжении более чем 160 лет оказывает значительную экологическую нагрузку на песчано-глинистые грунты, подземные воды, а также наблюдается поступление богатой микробиоты дополнительно к болотной (рисунок 3.37) [68].

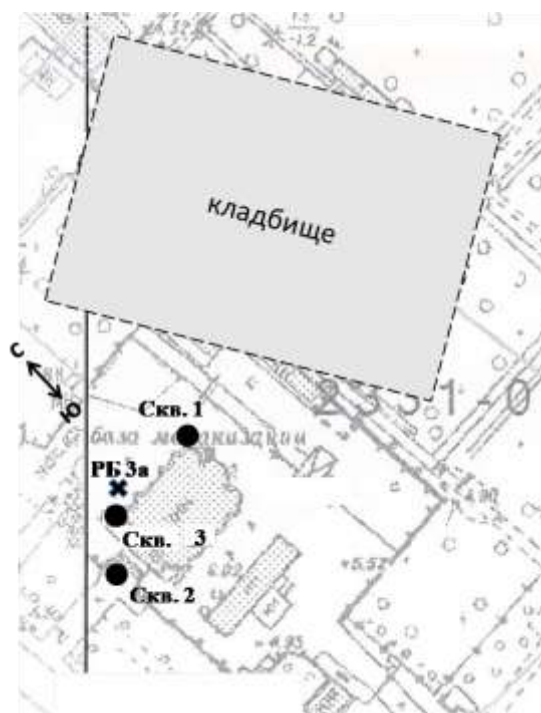


Рисунок 3.37 – Расположение скважин механического и ручного бурения (РБ) и кладбища вблизи храма Пресвятой Троицы

Надо учесть, что при подъеме уровня воды в р. Неве при наводнениях различной интенсивности происходит подпор грунтовых вод и их разбавление речными водами.

Таблица 3.7 – Характер и особенности освоения территории церкви Пресвятой Троицы

Этапы освоения	Характер и особенности освоения
XV–XVI вв.	Хозяйственно-бытовое загрязнение, д. Йервис (Ергина-2)
XVII в.	Шведское кирпичное производство
Начало XVIII – конец XIX вв.	Хозяйственное использование Александро-Невской Лаврой (кирпичное производство, скотный двор, сенокосы, пастбища)
Середина XIX – XXI вв.	Функционирование Киновеевского кладбища

Длительный срок контаминации подземного пространства отразился на составе грунтовых вод, который характеризуется высоким содержанием органических соединений по величине химического потребления кислорода и биологического потребления кислорода (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Результаты химического анализа грунтовых вод, отобранных на территории церкви Пресвятой Троицы вблизи Киновеевского кладбища

Определяемые показатели	Ед. изм.	Численные показатели воды, отобранной из скважин	
		ручное бурение, скв. 3а	механическое бурение, скв. 3
Натрий	мг/дм ³	267	148,1
Кальций	мг/дм ³	105	123,2
Калий	мг/дм ³	9,7	н.о.*
Магний	мг/дм ³	149	188,1
Аммоний-ион	мг/дм ³	2,8	6,0
Гидрокарбонат-ион	мг/дм ³	1520	1540,7
Нитрат-ион	мг/дм ³	<0,1	1,5
Нитрит-ион	мг/дм ³	0,024	следы
Сульфат-ион	мг/дм ³	24	56,8
Хлорид-ион	мг/дм ³	142	68,8
Кремневая кислота по (Si)	мг/дм ³	9,2	н.о.
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	48	46,8
ХПК	мгО ₂ /дм ³	259	н.о.
БПК₅	мгО ₂ /дм ³	35	н.о.
Агрессивная углекислота	мг/дм ³	н.о.	41,2
Жесткость общая	°Ж	17,5	21,62
Сухой остаток	мг/дм ³	1225	1492,0

Продолжение таблицы 3.8			
рН	-	4,0/7,5 ^{**}	7,21
Фосфат-ион	мг/дм ³	0,34	н.о.
Мутность	мг/дм ³	>100	н.о.
Цветность	градус	53	н.о.
Запах	балл	5, железо	без запаха

Примечание: ^{*} Не определялось; ^{**} В числителе – полевое определение, в знаменателе – определение в лаборатории.

Разница между ХПК и перманганатной окисляемостью говорит о том, что большая доля падает на трудноокисляемую органику, часть которой составляют белки различного генезиса. Такие высокие значения органических соединений определяют низкую величину E_h - менее -100 мВ, что свидетельствует об анаэробном состоянии водонасыщенной грунтовой толщи. Кроме того, наличие органических кислот снижает величину рН до 4,0, что было установлено только в результате полевых определений. Замеры рН в полевых условиях позволили характеризовать грунтовые воды как кислые (рН=4,0), в то время как в лабораторных условиях рН повысилось до 7,5 за счет изменения окислительно-восстановительной обстановки. При проведении лабораторных исследований содержание иона аммония как показателя канализационного загрязнения составляло 6,0 мг/дм³. Следует отметить, что аммоний относится к неустойчивым элементам и его содержание необходимо также замерять в полевых условиях.

Судя по содержанию ионов Ca^{2+} (105 мг/дм³) и Mg^{2+} (149 мг/дм³) 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 рН, а также наличие во всех пробах воды агрессивной углекислоты (до 41,2 мг/дм³).

Результаты микробиологических исследований образцов грунта и поврежденных строительных материалов, отобранных на территории храма Пресвятой Троицы

Важное значение приобрело исследование активизации микробной деятельности, интенсивность которой оценивалась прямыми и косвенными методами. Косвенными методами ориентировочной оценки активности микрофлоры послужили колориметрические способы количественного определения микробной массы – методы Бредфорда и Лоури. Сравнительная оценка косвенных методов определения микробной массы (ММ) показала, что полученные значения ММ с использованием реактива Бредфорда изменялись от 33 до 344 мкг/г, в то время как применение более точного метода Лоури позволило установить высокие значения ММ, которые варьировали в пределах 63-9077 мкг/г (рисунок 3.38) [30].

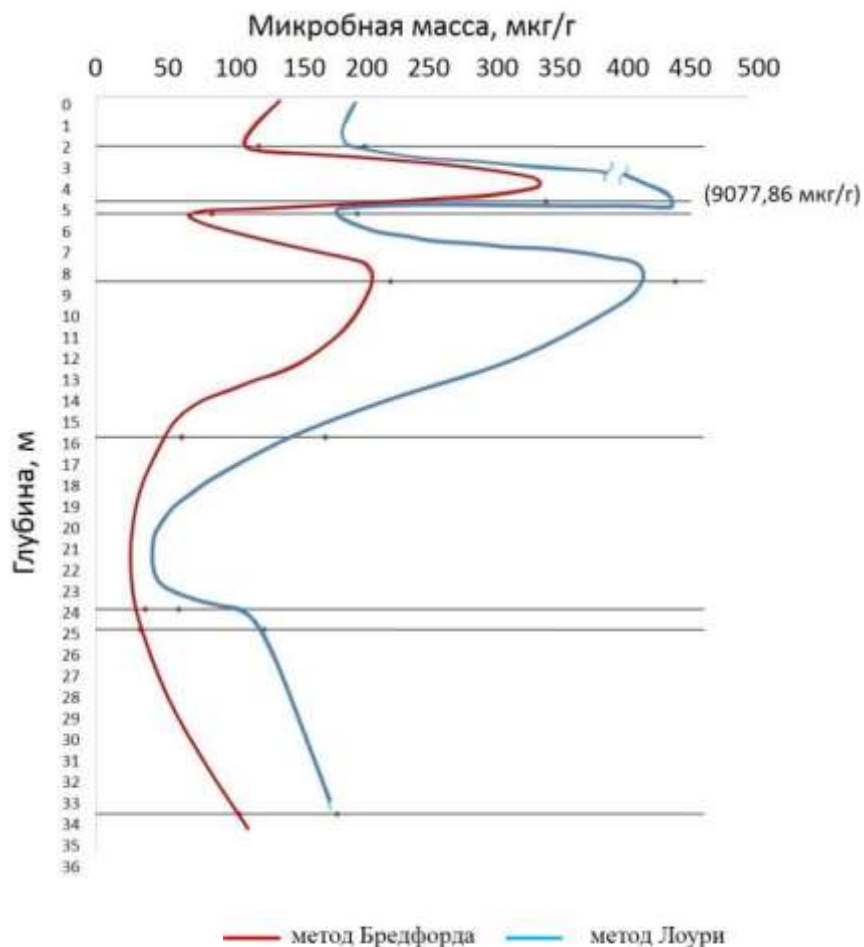


Рисунок 3.38 – Характер изменения микробной массы по глубине разреза в основании храма Пресвятой Троицы

Согласно результатам прямых методов анализа, заключающихся в оценке численности физиологических групп микроорганизмов, в грунтах разреза храма Пресвятой Троицы была выявлена высокая численность мицелиальных грибов (микроспоровиков), количество (КОЕ) которых с глубиной возрастало и достигало максимума (5200 КОЕ на грамм) в нижней части разреза, сложенного моренными отложениями. В результате микологического исследования всего выявлено 13 видов грибных культур, основная часть которых принадлежит к активным биодеструкторам и обладает высокой степенью агрессивности по отношению к строительным материалам. Особо следует обратить внимание на содержание в грунтах грибов рода *Aspergillus*, которые известны не только как активные деструкторы материалов, но и условные патогены человека, что обусловлено влиянием контаминантов Киновеевского кладбища (таблица 3.9, рисунок 3.39) [187].

Таблица 3.9 – Состав и численность микроспоровиков в пробах грунтов в разрезе основания храма Пресвятой Троицы

№ пробы	Описание пробы	Место отбора пробы	Виды микроспоровиков	КОЕ
1	ml IV	Скв., глубина отбора 2,3 м	<i>Aspergillus ustus</i> (полное доминирование) Неспороносящий светлоокрашенный гриб	3500
	Супесь			
2	ml IV	Скв., глубина отбора 5,7 м	<i>Aspergillus ustus</i> (доминирует) <i>Trichoderma viride</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб Неспороносящий темноокрашенный гриб	3800
	Суглинок			
3	lg III	Скв., глубина отбора 9,0 м	<i>Aspergillus ustus</i> (доминирует) <i>Aspergillus versicolor</i> <i>Trichoderma viride</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб Неспороносящий темноокрашенный гриб	3600
	Суглинок			
4	gIII os	Скв., глубина отбора 16,6 м	<i>Aspergillus ustus</i> (доминирует) <i>Trichoderma viride</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб Неспороносящий темноокрашенный гриб	3400
	Супесь			
5	lg II	Скв., глубина отбора 26, 0 м	<i>Aspergillus flavipes</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus ustus</i> (доминирует) <i>Fusarium chlamydosporum</i>	4000
	Супесь			

Продолжение таблицы 3.9				
6	gIII ms	Скв., глубина отбора 35,0 м	<i>Aspergillus ustus</i> (доминирует)	5200
	Супесь		<i>Trichoderma viride</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб Неспороносящий темноокрашенный гриб	



Рисунок 3.39 – Развитие колоний микромицетов (сплошной газон) из образца грунта с глубины 35 м (московская морена)

Помимо грибных культур, прямыми микробиологическими методами была выявлена высокая численность гетеротрофных (органотрофных) бактерий, достигающая более 10^7 КОЕ на грамм, что свидетельствует об активной микробной деятельности, которая, как известно, может протекать в широком диапазоне кислотно-щелочных, окислительно-восстановительных и температурных условий (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Общее микробное число гетеротрофных бактерий в грунтах разреза основания храма Пресвятой Троицы

№ пробы	Глубина отбора, м	Геолого-генетический тип грунта		Общее микробное число (КОЕ на 1 грамм субстрата)
1	2,3	ml IV	Супесь	Более 10^7
2	5,7	ml IV	Суглинок	$5,8 \times 10^6$
3	9,0	lg III	Суглинок	$2,5 \times 10^6$
4	16,6	gIII os	Супесь	$1,9 \times 10^6$
5	26	lg II	Супесь	$6,7 \times 10^6$
6	35	gIII ms	Супесь	$7,2 \times 10^6$

Среди групп аэробных бактерий были выделены тионовые, численность которых заметно варьировала по глубине разреза (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Численность тионовых бактерий в пробах грунта разреза основания храма Пресвятой Троицы

№ пробы	Глубина отбора, м	Геолого-генетический тип грунта		Численность тионовых бактерий (КОЕ на 1 грамм субстрата)
1	2,3	ml IV	Супесь	10^3
2	5,7	ml IV	Суглинок	10^4
3	9,0	lg III	Суглинок	10^5
4	16,6	gIII os	Супесь	10^4
5	26	lg II	Супесь	10^2
6	35	gIII ms	Супесь	10^3

Особое внимание было уделено анаэробным микроорганизмам: сульфатредуцирующим и железовосстанавливающим бактериям, представители которых зафиксированы во всех изученных пробах и характеризовались крайне неравномерным распределением в грунтах разреза основания. Развитие сульфатредуцирующих бактерий было зафиксировано по выпадению черного хлопьевидного осадка в жидкой среде, который практически не оседал на дно пробирки на протяжении всего периода культивирования, что можно наблюдать на рисунке 3.40.



Рисунок 3.40 – Развитие анаэробных бактерий в среде для сульфатредукторов по глубине разреза:

1 – 2,3 м; 2 – 5,7 м; 3 – 9,0 м; 4 – 16,6 м; 5 – 26,0 м; 6 – 35,0 м.

Вместе с тем, деятельность железовосстанавливающих бактерий отмечалась по формированию темно-бурых хлопьев, которые быстро оседали, образуя заметный осадок буро-зеленого цвета (рисунок 3.41).

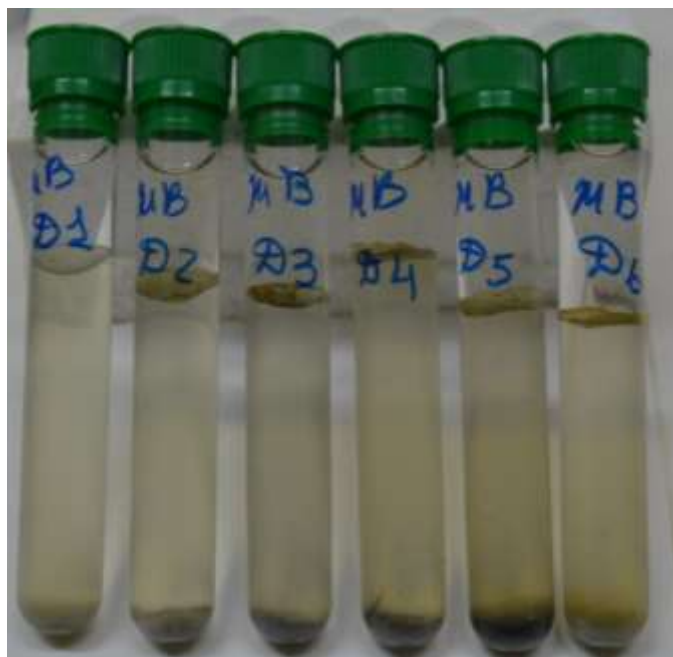


Рисунок 3.41 – Развитие анаэробных бактерий в среде для железовосстанавливающих бактерий по глубине разреза: 1 – 2,3 м; 2 – 5,7 м; 3 – 9,0 м; 4 – 16,6 м; 5 – 26,0 м; 6 – 35,0 м.

Однако длительность освоения территории и специфика загрязнения подземной среды привела к активному развитию микроорганизмов не только в грунтах основания, но и в строительных материалах Храма Пресвятой Троицы, что подтверждается исследованиями микробиологической пораженности отобранных образцов штукатурного покрытия и кирпича из фундаментов рассматриваемого объекта (рисунок 3.42, 3.43). Следует отметить, что поверхность штукатурного материала покрыта практически сплошным черным налетом, представляющим собой органоминеральную субстанцию, в которой присутствуют микроскопические грибы.



Рисунок 3.42 – Черная биопленка на поверхности штукатурного покрытия



Рисунок 3.43 – Фрагмент кирпича с признаками биодеструкции

Следует отметить, аномально высокую численность микромицетов в образцах строительных материалов, особенно в штукатурном покрытии – 11000 КОЕ на грамм. Как известно, грибы развиваются в кислой среде, а штукатурный слой при увлажнении характеризуется как щелочная среда (таблица 3.12, рисунок 3.44).

Таблица 3.12 – Состав и численность микромицетов в пробах строительных материалов храма Пресвятой Троицы

№ пробы	Описание пробы	Место отбора пробы	Виды микромицетов	КОЕ
1	Штукатурное покрытие	Фасад здания Церкви	<i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium oxalicum</i> <i>Penicillium waksmanii</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб	11000

Продолжение таблицы 3.12				
2	Кирпич	Фасад здания Церкви	<i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>Penicillium oxalicum</i> Неспороносящий светлоокрашенный гриб	8900



Рисунок 3.44 – Развитие колоний микромицетов из образца штукатурного покрытия с фасада храма Пресвятой Троицы

Для выяснения характера повреждения отобранных строительных материалов было проведено исследование с использованием сканирующей электронной микроскопии в диапазоне увеличений от 100х до 10000х, что позволило проанализировать распределение биодеструкторов в поверхностном слое корродирующего материала, выявить глубину и характер коррозионных процессов, а также оценить степень трансформации поверхностного слоя материала.

Необходимо подчеркнуть, что штукатурное покрытие и кирпичная кладка подвергаются процессам поверхностной дезинтеграции, грануляции и осыпания. При микроскопическом исследовании образца штукатурного покрытия с характерными признаками поверхностной деструкции зафиксированы различные структуры микроорганизмов с доминированием плесневых грибов, что подтверждает их участие в формировании черной органоминеральной субстанции на поверхности штукатурного покрытия. При бинокулярном исследовании

хорошо заметен и светлый мицелиальный налет, который развивается поверх черной пленки (рисунок 3.45).

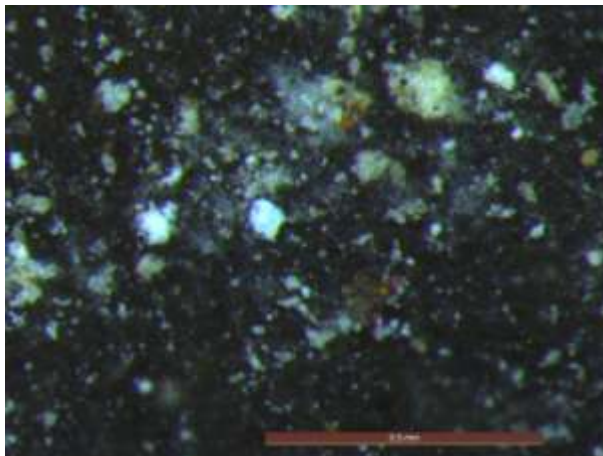
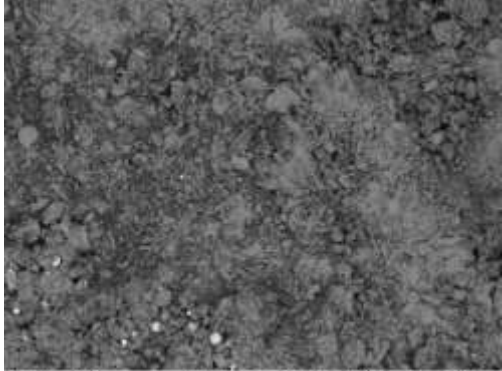

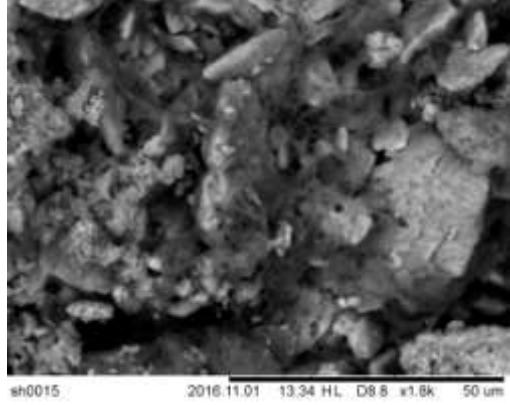
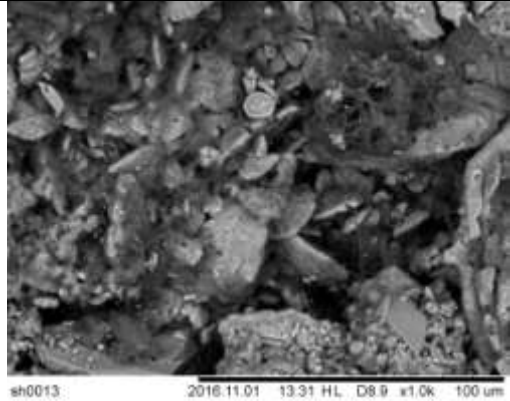


Рисунок 3.45 – Белый мицелиальный налет, развивающийся на черной органоминеральной субстанции, покрывающей поверхность штукатурного материала в фасаде здания храма Пресвятой Троицы

Микромицеты образуют скопления, плотные сплетения, биопленки, что оказывает деструктивное воздействие на поверхностный слой штукатурного покрытия (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Результат СЭМ-исследования поверхности штукатурного материала с фасада храма Пресвятой Троицы

СЭМ-изображение	Описание
 <p data-bbox="323 1630 826 1659">DoiVK5m0006 2016.11.01 13:16 HL D8 9 x120 500 um</p>	<p data-bbox="981 1261 1364 1480">Общий вид поверхности. Видны скопления грибного мицелия (более темные участки). Поверхность материала деструктивирована.</p>
 <p data-bbox="323 2033 826 2060">sh0010 2016.11.01 13:20 HL D8 9 x400 200 um</p>	<p data-bbox="965 1664 1380 1955">Общий вид поверхности (при большем увеличении). Видны скопления грибного мицелия (более темные участки). Многочисленные кристаллы покрывают поверхность материала (вероятно, кристаллы гипса).</p>

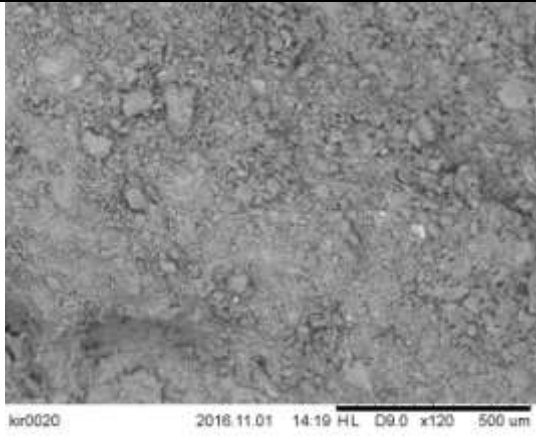
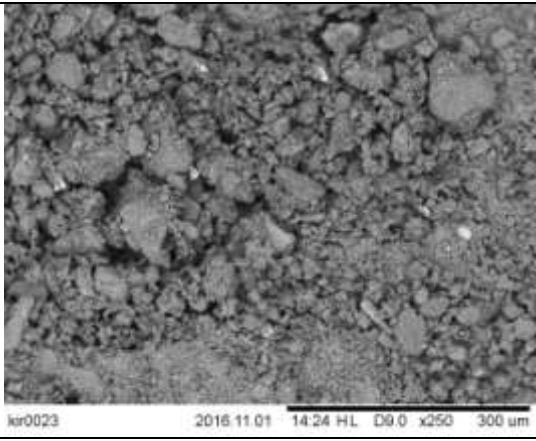
Продолжение таблицы 3.13	
	<p>При большем увеличении скопления грибного мицелия, покрывающего поверхность и прорастающего между частицами материала.</p>
	<p>Другой участок поверхности. Плотное сплетение грибного мицелия. Материал заметно разрушен.</p>

Использование световой и электронной сканирующей микроскопии позволило выявить особенности деструкции кирпича, протекающей в результате взаимосвязанных процессов биологической и химической (солевой) коррозии. Микологический анализ солевых отложений показал присутствие в них тех же видов микроорганизмов, что были выявлены и в образце кирпича (рисунок 3.46, таблица 3.14).



Рисунок 3.46 – Неоднородная структура поврежденной поверхности кирпича. Видны кристаллы солей

Таблица 3.14 – Результат СЭМ-исследования поверхности кирпича с фасада храма Пресвятой Троицы

СЭМ-изображение	Описание
	<p>Общий вид поверхности образца. Хорошо заметна деструкция материала (грануляция, осыпание поверхности)</p>
	<p>Поверхность образца при большем увеличении. Хорошо видна деструкция материала. Кристаллы могут быть связаны с солевой коррозией поверхности. Микрзоны служат убежищем для микроорганизмов-деструкторов.</p>

Экспериментальные исследования состава и физико-механических свойств грунтов

Анализ выполненных комплексных исследований гранулометрического состава песчано-глинистых грунтов, их физического состояния и свойств, а также показателей сопротивления сдвигу и деформационных характеристик на всю глубину опробования позволил получить определенные закономерности.

Для озерно-морских суглинков (ml IV, см. рисунок 3.36) установлен достаточно однородный гранулометрический состав, в которых величина глинистой фракции варьирует в очень узких пределах, от 14,0 до 15,7%. Однако закономерное изменение содержания хорошо разложившейся органики по глубине предопределяет основные количественные параметры физических свойств этих грунтов, прежде всего, влажности и плотности (рисунок 3.47).

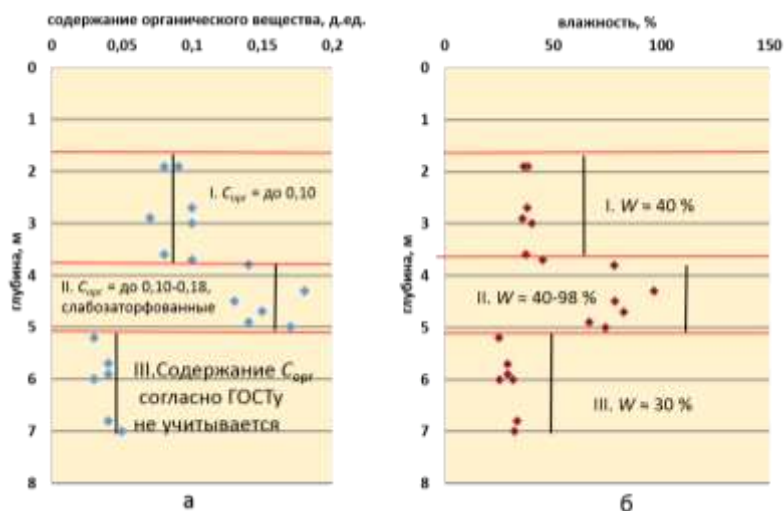


Рисунок 3.47 – Характер изменения в озерно-морских отложениях в зависимости от глубины: а) содержания органического вещества ($C_{орг}$, д.ед.); б) величины влажности (W , %).

Следует подчеркнуть, что прослеживается четкая корреляция между величиной влажности и содержанием органического вещества, которое определялось путем прокаливания проб (рисунок 3.48) и соответствует эмпирической формуле:

$$W = 25c^2 + 0,2, \quad (3.2),$$

где c – содержание органического вещества, отн. ед., W – величина влажности, отн. ед.

Установлено, что при возрастании содержания органики до 0,2 д.ед. влажность грунтов резко увеличивается до 100% из-за роста гидрофильности грунта.

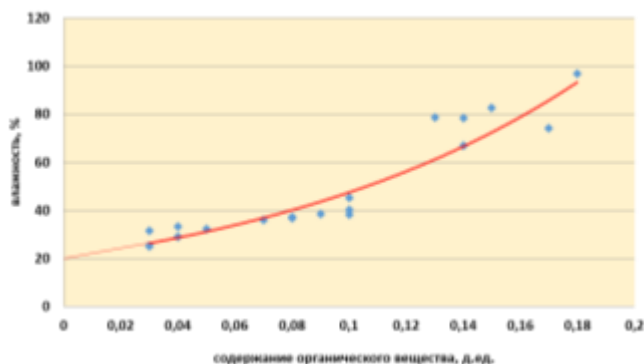


Рисунок 3.48 – Влияние содержания органического вещества на величину влажности в озерно-морских отложениях

Повышенное содержание органического вещества предопределяет снижение плотности грунта до $1,5 \text{ г/см}^3$ и плотности скелета – менее 1 г/см^3 (рисунок 3.49).

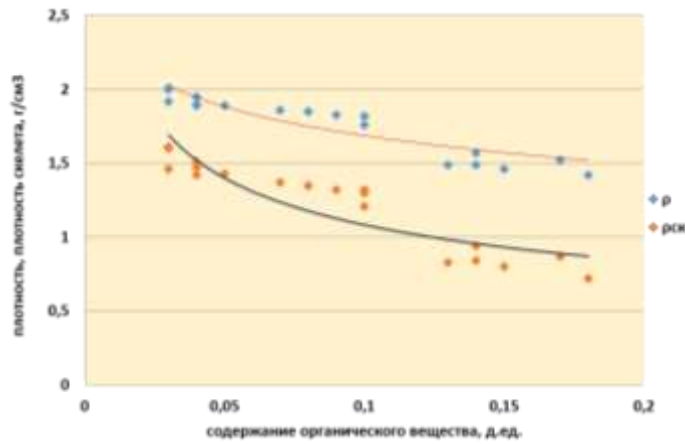


Рисунок 3.49 – Влияние содержания органического вещества на плотность (ρ) и плотность скелета ($\rho_{ск}$) в озерно-морских отложениях

Изменение сопротивления сдвигу, зафиксированное в условиях трехосного сжатия по схеме НН для озерно-морских образований, позволило установить отсутствие какой-либо зависимости прочности от влажности грунтов при различном содержании органики. Несмотря на широкий диапазон варьирования величины влажности в озерно-морских отложениях, от 29,6 до 79,6%, показатели прочности остаются близкими по значению (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Показатели физико-механических свойств различных геолого-генетических типов в разрезе основания

Параметры свойств грунтов	Озерно-морские отложения	Озерно-ледниковые отложения	Ледниковые отложения
Плотность ρ , г/см^3	1,49-1,90	1,78-1,89	2,14-2,18
Плотность скелета $\rho_{ск}$, г/см^3	0,83-1,49	1,25-1,41	1,82-1,88
Показатель консистенции I_L (безразмерная)	0,93-1,10	0,87-1,14	0,19-0,34
Влажность до опыта W , %	29,6-79,6	33,3-43,1	16,3-17,9
Удельное сцепление c , кгс/см^2 МПа	0,162-0,164 0,0162-0,0164	0,17-0,18 0,017-0,018	0,38-0,44 0,038-0,044
Угол внутреннего трения ϕ , °	0	0	<3-5

Продолжение таблицы 3.15			
Модуль общей деформации, МПа	1,2-1,4	2,0-3,0	3,5-4,2
$S_{орг}$, д.ед.	0,04-0,15	-	-

*Примечание: Приведены средние значения показателей физико-механических свойств грунтов. Число определений для физических свойств - 11 и для показателей сопротивления сдвигу - 6.

В водонасыщенных суглинистых отложениях средняя величина сцепления составляет 0,016 МПа, что объясняется сорбцией органического вещества на дисперсных частицах грунта, предопределяющей формирование в них водородных связей дополнительно к молекулярным. Водородные связи действуют в цепочечных структурах органических соединений растительного происхождения. Присутствие органики определяет интенсивность развития пластических деформаций, что свидетельствует о способности к длительному развитию осадков при постоянном давлении, модуль их общей деформации менее 1,5 МПа. Исследование озерно-ледниковых отложений, генезис которых подразумевает отсутствие органической компоненты, показало, что варьирование величины влажности по глубине связано с изменением содержания глинистой фракции (рисунок 3.50).

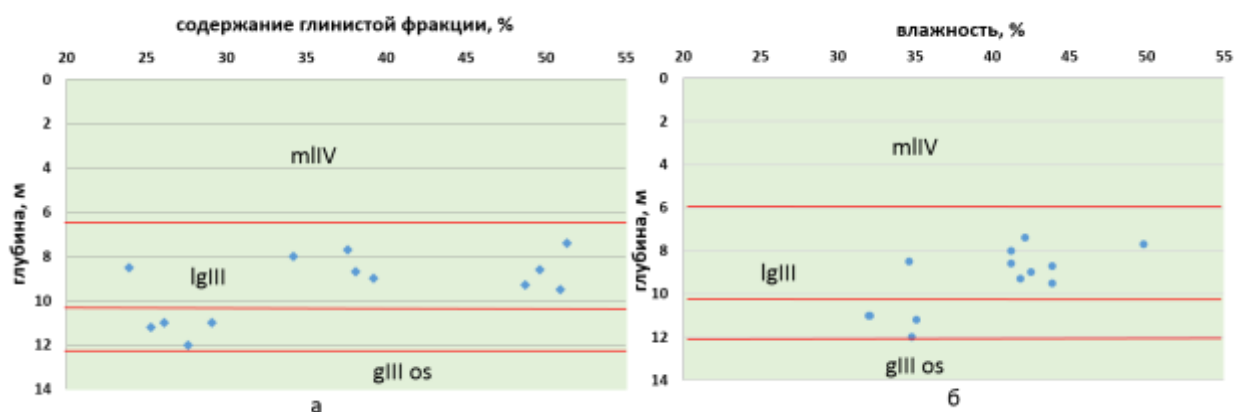


Рисунок 3.50 – Характер изменения в озерно-ледниковых отложениях в зависимости от глубины: а) содержания глинистой фракции; б) величины влажности. Обозначения слоев соответствуют рисунку 3.36

Следует отметить, что при различном значении влажности величина сцепления грунтов варьирует в узких пределах 0,017–0,018 МПа, при $\varphi \rightarrow 0$, а модуль общей деформации достигает 2–3 МПа (см. таблицу 3.15).

Воздействие соляной кислоты (HCl) на черные сажистые примазки (гидротроилит, $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), зафиксированные в озерно-ледниковых грунтах, приводило к выделению сероводорода – продукта деятельности сульфатредуцирующих бактерий.

Как известно, моренные образования обычно рассматривают как несущий горизонт для свайных фундаментов не только при строительстве, но и при реконструкции и реставрации архитектурно-исторических памятников. Однако согласно результатам проведенных исследований для морен, формирующихся в восстановительной среде, характерно отсутствие жестких цементационных связей, обычно за счет гидроксидов железа. Следовательно, морены при значительной плотности и относительно невысокой влажности обладают пластическим характером деформирования. Обычно цвет таких моренных отложений серо-зеленый, серо-голубой, что вызвано наличием восстановленных форм железа (рисунок 3.51).



Рисунок 3.51 – Керн моренных отложений по результатам бурения скважин в разрезе церкви Пресвятой Троицы

Таким образом, несмотря на устойчивую консистенцию (от 0 до -0,25), в условиях трехосного сжатия морены анаэробной зоны ведут себя как квазипластичные грунты, что предопределяет развитие длительных и крайне неравномерных осадок и в дальнейшем приводит к трещинообразованию в несущих конструкциях, особенно если учитывать крайне низкие величины трения по боковой поверхности свай (рисунок 3.52).

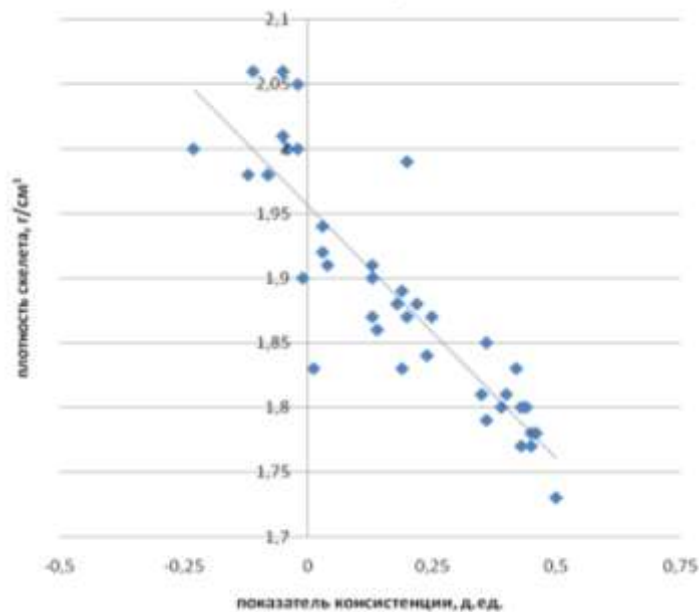


Рисунок 3.52 – Характер изменения плотности скелета и показателя консистенции в ледниковых отложениях

Анализ устойчивости храма на основе проведенных экспериментальных работ

Реконструкция предусматривает надстройку храма и восстановление венчающих шатров (см. рисунок 3.33), что, соответственно, приведет к возрастанию давления на основание. Как уже отмечалось, несущим слоем служат озерно-морские слабые водонасыщенные грунты с выраженной способностью к развитию пластических деформаций.

В настоящее время давление от сооружения с учетом снижения площади фундаментов за счет разрушения плиты известняка и деревянных лежней составляет 0,13 МПа.

Величина давление под подошвой фундамента при наличии целостности лежней и плиты под всем зданием церкви была ниже p_1 (первое критическое давление по Л. Прандтлю) [56].

$$p_1 = \pi c + \gamma h_{\phi}, \quad (3.3),$$

где c – величина сцепления, γh_{ϕ} – пригрузка от заглубления фундамента. Таким образом, первое критическое давление (p_1) составляет 0,072 МПа (0,72 кгс/см²) при условии $c = 0,016$ МПа (0,16 кгс/см²), а величина

$\gamma h_{\phi} = 0,022$ МПа ($0,22$ кгс/см²) с учетом взвешивания вышележащей толщи над подошвой фундамента.

Второе критическое давление (p_2) рассчитывается также по формуле Л. Прандтля [56]:

$$p_2 = 5,14c + \gamma h_{\phi} \quad (3.4),$$

и при тех же условиях составляет $0,11$ МПа ($1,1$ кгс/см²).

Следовательно, в настоящее время действующее давление превышает даже второе критическое и грунты основания работают в стадии пластических деформаций, что в конечном итоге должно привести к разрушению храма за счет больших и неравномерных осадок, которые не затухают во времени.

Для обеспечения длительной устойчивости храма Пресвятой Троицы рассматриваются два возможных варианта усиления фундаментов.

Первый вариант. Известно, что в случае длительного развития осадок за счет пластических деформаций проектировщики рекомендуют устройство свайного фундамента, несущим горизонтом для которого будут служить моренные образования. Причем наиболее часто рекомендуется применение буронабивных свай. Следует отметить, что устройство свайного фундамента не приведет к желаемому результату. Во-первых, наличие напорного водоносного горизонта предопределяет взвешивающий эффект за счет восходящего перетекания подземных вод, снимающего трение по боковой поверхности свай. Во-вторых, высокая коррозионная способность подземной среды по отношению к бетонам, металлам, карбонатным породам, извести, вызванная микробной пораженностью за счет существовавших болот, контаминированных грунтовых вод со стороны Киновеевского кладбища, утечек из систем водоотведения и хозяйственно-бытовых отходов, которые размещались на данной территории в период ее освоения. Как уже отмечалось ранее, активная деятельность сульфатредуцирующих бактерий в толще грунтов основания приводит к образованию H_2S и подкислению грунтовых вод. В-третьих, согласно ГОСТ 23732-2011 (см. таблицу 3.4) при полученных характеристиках исследуемых грунтовых вод (перманганатная окисляемость - 48 мг O_2 /дм³, интенсивность

запаха – 5 баллов) не происходит твердение бетонов [46]. Кроме того, в водах с низкими значениями рН бетоны не твердеют.

К перечисленным выше факторам, следует отнести и квазипластичное состояние морены, залегающей под озерно-ледниковыми отложениями в условиях повышенного и длительного загрязнения. Многочисленными исследованиями, которые проводились в лабораториях Горного университета, а также в полевых условиях было доказано, что такие морены при испытаниях в условиях трехосного сжатия имеют не только низкие величины углов внутреннего трения, но и невысокие модули общей деформации грунтов $E \leq 5$ МПа, что не позволяет считать их надежным несущим горизонтом для свайных фундаментов [56].

Второй вариант. На основании особенностей инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории рассматриваемого объекта, а также учитывая характер и длительность интенсивной контаминации подземной среды, необходимо предложить восстановление первоначального проекта фундамента, который был рассмотрен ранее во введении при характеристике конструктивных особенностей церкви Пресвятой Троицы. В связи с этим, следует использовать устойчивые конструкционные материалы и/или проводить мероприятия, направленные на предупреждение коррозии фундаментов в агрессивной подземной среде. Прежде всего, требуется выполнить пропитку всех деревянных конструкций и лежней во избежание их разрушения в результате деятельности подземной микробиоты: микромицетов, актиномицетов и бактерий. Поскольку при высоком содержании агрессивной CO_2 и низких рН в подземных водах гарантировать сохранность плиты известняка не представляется возможным, рекомендуется ее замена на гранитную меньшей толщины (не более 30 см). При высокой степени дезинтеграции материала кладки ленточных фундаментов необходимо перейти на капитальные методы их укрепления, одним из которых является устройство «рубашек» из полимерных бетонов и железобетонов, устойчивых при воздействии групп микроорганизмов, которые характерны для разреза основания храма. Восстановление первоначальной конструкции

фундаментов храма потребует совершенствования технологии реставрационных работ, особенно при устройстве лежней и плиты под ленточными фундаментами.

Зарубежный опыт реконструкции подземных несущих элементов зданий показывает, что в ряде случаев было реализовано восстановление старинных конструкций, но при использовании современных материалов, а технология ведения реконструкционных работ, отвечающих состоянию памятника и адекватным инженерно-геологическим условиям.

1.4 Выводы по главе 3

1. 1. 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 - стенах.

2. Установлено, что несмотря на разное время 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. 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. Для кирпичной кладки фундаментов Нового Эрмитажа выполнена типизация по степени ее сохранности. 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.

3. 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.

4. По данным картографических материалов территории рассматриваемых объектов характеризовались длительным периодом контаминации ПП, что отразилось на составе грунтовых вод, содержащих повышенное количество органических соединений. 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.

5. 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. 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.

6. 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 обладают только молекулярным типом структурных связей и имеют пластический характер деформирования и разрушения, низкие модули деформации при их испытаниях в условиях трехосного сжатия.

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).

8. Для обеспечения длительной устойчивости исследуемых архитектурно-исторических памятников 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: наличие напорного водоносного горизонта, высокая коррозионная способность подземной среды, отсутствие твердения бетонов согласно ГОСТ 23732-2011 при полученных характеристиках исследуемых грунтовых вод и квазипластичное состояние морены. Необходимо предложить восстановление первоначального проекта фундаментов, но при использовании устойчивых материалов и проведении мероприятий, предупреждающих развитие биокоррозии в восстановительной среде. 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».

ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА НА ОСНОВЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО КОНТАМИНАЦИИ В ИСТОРИЧЕСКОМ ПЛАНЕ

4.1 Инженерно-геологическая интерпретация зон засыпанных водотоков и водоемов на территории исторического центра города

Инженерная подготовка территорий представляет собой комплекс мероприятий по ее освоению для дальнейшего градостроительного использования, улучшению санитарно-гигиенических и микроклиматических условий. Состав мероприятий по инженерной подготовке устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий осваиваемой территории (характеристика рельефа, особенности типов грунтов, гидрогеологических условий, развитие природных и природно-техногенных процессов, в том числе затопляемости и подтопляемости, степени ее заболоченности и т.д.), а также типа сооружения, класса его капитальности и ответственности, либо комплекса сооружений. Оценка природных и природно-техногенных процессов в целях их учета и снижение их негативного влияния при освоении территории составляет важную часть градостроительного анализа условий строительства — исходной базы ее инженерной подготовки. Однако не менее важная часть такого анализа — комплексная оценка территории и прогнозирование различных процессов, связанных с ее освоением и использованием подземного пространства.

Специфика инженерной и хозяйственной деятельности человека определили характер изменения компонентов ПП на рассматриваемой территории и, прежде всего, наиболее уязвимо — подземных вод за счет роста масштабов контаминации, активизации деятельности подземной микробиоты и соответственно развитием и/или активизацией процессов, вызванных многофакторным преобразованием.

Современная база нормативных документов Санкт-Петербурга для проведения инженерно-геологических исследований имеет ряд существенных недостатков, одним из которых является отсутствие необходимости анализа исторического аспекта формирования техногенных отложений в процессе развития городской инфраструктуры, мощность, состав и свойства которых зависели от цели и характера инженерной подготовки застраиваемой территории, наличия болотных отложений, уровня грунтовых вод и пр. Согласно пункту 6.7.2.7 (СП 47.13330.2012 - Инженерные изыскания для строительства) техногенные отложения подлежат рассмотрению в том случае, если они используются в качестве основания либо среды для различных сооружений и инженерных коммуникаций [174]. Техногенные отложения за небольшим исключением следует отнести к наиболее сложным, изменчивым по составу, состоянию и свойствам и мало благоприятным для строительных целей инженерно-геологическим образованиям, требующим дифференцированного подхода, детальных и специальных исследований. Исключение составляют техногенные образования, создаваемые с заранее заданными характеристиками, как несущий слой для фундаментов, экранов, дренажных устройств и пр.

Вместе с тем, необходимо отметить, что в техногенных отложениях городских инфраструктур в гумидном климате и зонах подтопления часто формируется водоносный горизонт, который несет на себе все признаки состава и степени контаминации техногенных образований, а также современного загрязнения и может являться источником поступления поллютантов различного генезиса в нижележащую толщу. При отсутствии водоносного горизонта в техногенных грунтах, происходит инфильтрация атмосферных осадков через их толщу, что сопровождается выносом сорбированных компонентов органического и неорганического происхождения в нижележащую толщу грунтов и подземных вод. Чем мощнее так называемый насыпной (намывной) техногенный слой и время (длительность) его формирования, тем разнообразнее компоненты его составляющие. Если техногенные образования связаны с засыпкой рек, каналов и других водотоков, а также с устройством прибрежных зон, то образуются

линейные формы залегания таких грунтов, что необходимо учитывать при инженерно-геологической оценке однородности строения грунтовой толщи.

М.И. Хазановым сделана первая попытка показать на схематических картах сугубо ориентировочно распространение, интенсивность образования техногенных отложений на территории России и изобразить среднегодовое образование техногенных грунтов в количественной форме по состоянию на конец 20 века (рисунок 4.1, 4.2). Несмотря на их условность, схемы дают общее представление о распространении и интенсивности образования техногенных отложений и подчеркивают их региональный характер [18, 95, 100, 181, 190].

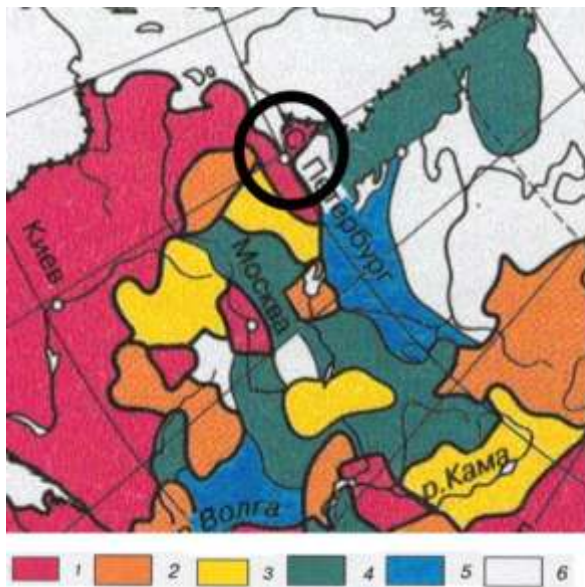


Рисунок 4.1 – Сравнительная интенсивность образования техногенных отложений на территории России (по М.И. Хазанову):

1 – очень высокая, 2 – высокая, 3 – средняя, 4 – низкая, 5 – очень низкая, 6 – прирост техногенных отложений не отмечается

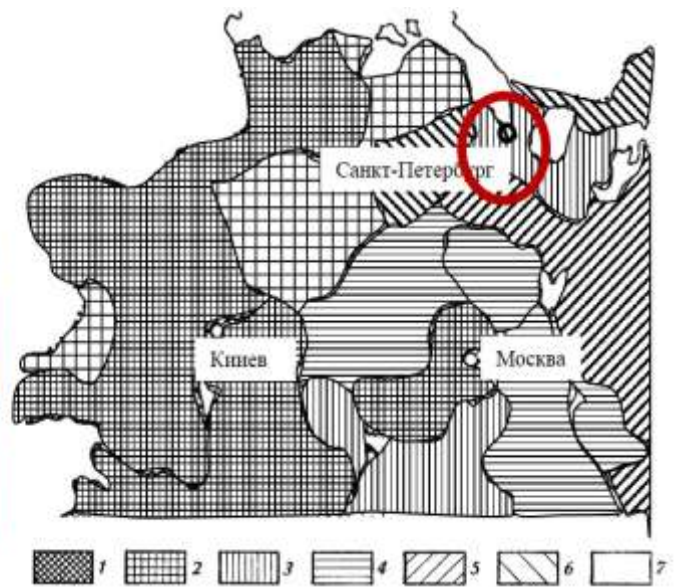


Рисунок 4.2 – Интенсивность образования техногенных отложений на территории России (по М.И. Хазанову):

1 – более $1000 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 2 – $500-1000 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 3 – $250-500 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 4 – $100-250 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 5 – $50-100 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 6 – $10-50 \text{ м}^3/\text{км}^2$, 7 – $0-10 \text{ м}^3/\text{км}^2$

Согласно рисункам 4.1 и 4.2 регион Санкт-Петербурга относится к территориям с очень высокой интенсивностью образования техногенных отложений, что связано с его положением как дельтового мегаполиса, длительной историей освоения рассматриваемых земель, развитием болот и заторфованных грунтов. Следует также отметить дефицит благоприятных по условиям

строительства площадей для развития городской инфраструктуры вне исторического центра.

Необходимо подчеркнуть, что техногенные отложения в мегаполисе можно подразделить на загрязненные в период их отсыпки (использование грунтов при дноуглублении каналов и рек, хозяйственно-бытовых и промышленных отходов, намыве донных отложений Невской губы) и техногенные отложения, измененные под воздействием загрязнения в период функционирования города, а именно контаминация грунтов в районе канализационных коллекторов малой глубины заложения, хозяйственно-бытовых и промышленных свалок.

На рисунке 4.3 приведена разработанная систематизация техногенных отложений для территории Санкт-Петербурга, в которой выделено две группы по способу их образования: насыпные и намывные. Подгруппа определяется историческим периодом формирования техногенных отложений, что профилирует специфику состава, а также инженерно-геологических свойств техногенных грунтов.

Как уже отмечалось ранее, согласно старинным картографическим материалам заболоченность территории города в 1703 году составляла более 70% (20 % - непроходимые и труднопроходимые болота, 50 % – торфяники или заторфованные участки), что предопределило существенные особенности инженерной подготовки территории, которая была связана с производством земляных работ в исключительно больших объемах и с функциональным использованием площадей застройки.

В процессе производства строительных работ при мощности торфяной залежи, не превышающей 2-3 метра, применялся метод выторфовывания, заключающийся в полном удалении торфяного слоя с заменой его песчаными и глинистыми отложениями, характеризующимися различной водо- и газопроницаемостью. Мощность необходимой насыпи определялась как разность между планировочной отметкой поверхности территории и отметкой минерального дна болота.

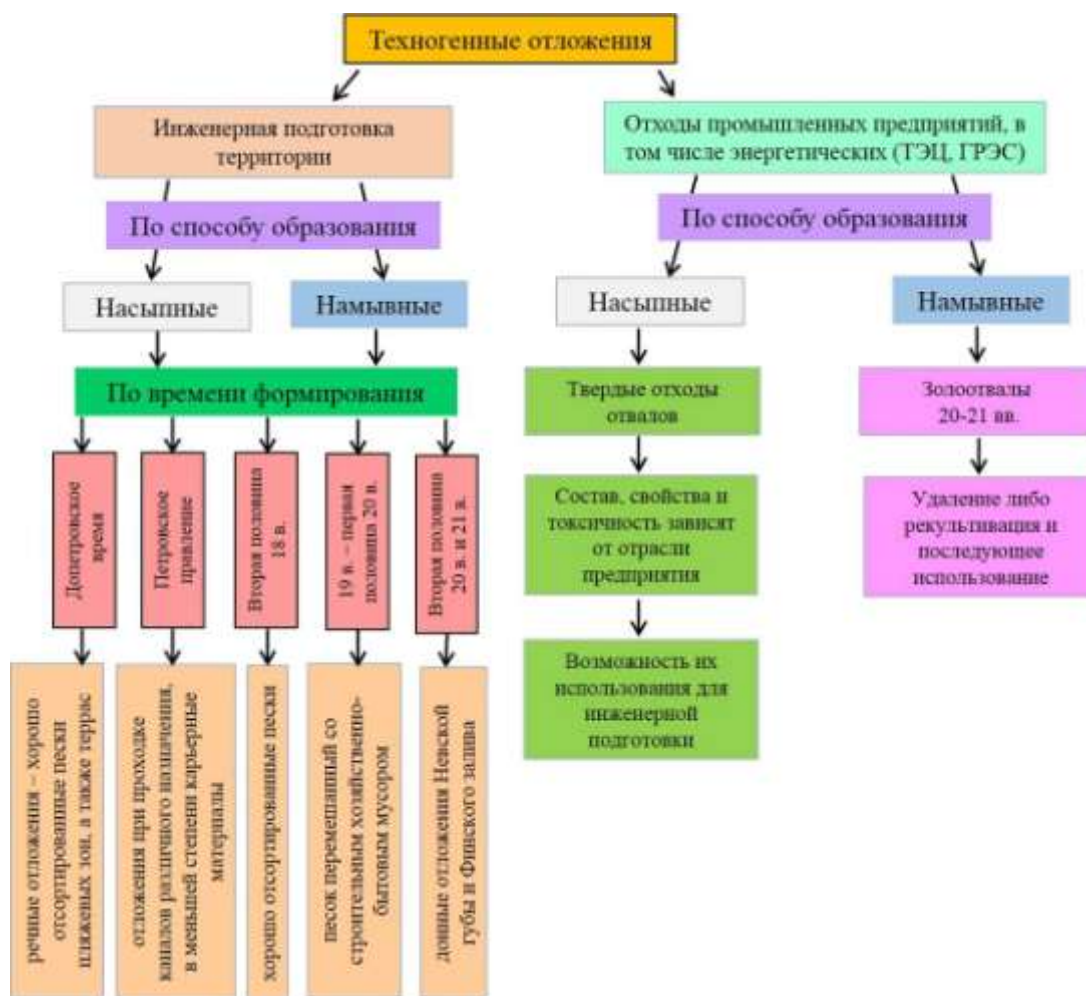


Рисунок 4.3 – Систематизация техногенных отложений на территории Санкт-Петербурга

Глубокие болота с мощностью торфяных пластов более 4 м засыпались, а в 60-х годах 20 века намывались донными отложениями – песками и супесями со дна Невской губы. Таким образом, часть болотных массивов оказалась погребенными под слоем техногенных образований, что сопровождалось существенным изменением физико-химической обстановки в разрезе погребенных болот, грунтовых вод, приуроченных к пескам и глинистым отложениям на глубину до 20-30 м и более. В отдельных случаях, особенно в конце 18 – начале 19 вв., болота на локальных участках снимались на полную мощность до 8-10 м и заменялись песком, строительным мусором. В качестве примера можно привести уничтожение глубокого болота в районе Гостиного Двора (до его строительства), в пределах площади около Технологического института [58]. Согласно действующим территориальным строительным нормам

по Санкт-Петербургу (ТСН 50-302-2004), актуализированным 12 февраля 2016 года, среди техногенных геодинамических процессов (термин используется в ТСН) отмечается такое явление как «гниение» болот и органических включений в грунтах при понижении уровня подземных вод [179]. Необходимо отметить, что при понижении уровня грунтовых вод и поступления кислорода в зону аэрации, наблюдается окисление органических соединений, а не «гниение», которое представляет собой процесс расщепления сложных азотсодержащих органических соединений под действием гнилостных микроорганизмов, происходящий обычно в анаэробных условиях [70, 78]. В этом случае усиливается роль микромицетов, для которых аэробные условия в большей степени соответствуют их метаболизму. Микромицеты способствуют разрушению деревянных конструкций в зоне аэрации.

Исследования засыпанных (замытых) болот показали, что подземная микробиота болотных отложений по численности микроорганизмов соответствует анаэробным формам при подчиненном значении факультативных и аэробных групп (таблица 4.1) [21, 114, 133, 175].

Таблица 4.1 – Численность характерной микрофлоры болотных отложений [49, 59]

Eh, mV	Зоны	Физиологические группы	Численность, клетки/г	Последствия микробной деятельности
>+50	Аэрации	Нитрифицирующие	10^4	образование азотной и азотистой кислоты
		Тионовые	$10^4 - 10^5$	образование серной кислоты
		Целлюлозоразрушающие	10^2	разрушение древесины
0	Переходная	Денитрифицирующие	10^6	генерация малорастворимого молекулярного азота появление газодинамического давления, изменение НДС
<-100	Анаэробная	Аммонифицирующие	$10^6 - 10^7$	образование хорошо растворимых газов аммония и сероводорода
		Сульфатредуцирующие	10^6	
		Целлюлозоразлагающие	$10^3 - 10^4$	разрушение древесины и растительных остатков
		Метанообразующие	$10^2 - 10^4$	образование малорастворимого газа CH_4 , изменение НДС при накопление

Кроме того, в ТСН 50-302-2004 ничего не сказано, что болотные отложения, а также заторфованные грунты оказывают негативное влияние на подстилающие песчано-глинистые отложения, что связано с их обогащением органической компонентой биогенного и абиогенного генезиса при нисходящей фильтрации болотных вод, которая, в свою очередь, способствует формированию восстановительных условий в этих грунтах и микробной пораженности [67]. Причем это влияние прослеживается даже в дочетвертичных глинах (нижнекембрийских и верхнекотлинских) коренных породах, особенно вне зоны погребенных долин, что обусловлено глубокой интродукцией клеток микроорганизмов за счет их способности сокращаться в размерах до 0,2 мкм и менее в зонах активной контаминации подземной среды [112].

Вопросы инженерной подготовки территории приобрели особо важное значение в пределах береговых зон многочисленных водных артерий Санкт-Петербурга. Прибрежные зоны были полностью преобразованы в пределах основных водных магистралей города — река Нева с рукавами: Большая и Малая Нева, Большая, Средняя и Малая Невки, р. Мойка (Мья), р. Кривуша (Екатерининский канал, позднее канал Грибоедова), р. Фонтанка (Безымянный Ерик); реки: Карповка, Ждановка, Крестовка, Смоленка, Екатерингофка, Пряжка; правые притоки: р. Охта, Чёрная речка, левый приток: р. Мурзинка; Кронверкский пролив; каналы — Обводный, Морской, Крюков (рисунок 4.4) [54, 107, 108]. Строительство набережных на реках и каналах формировало также архитектурно-эстетический облик города — спуски к воде по каменным лестницам, малые архитектурные формы и др.).



Рисунок 4.4 – Гидрографическая сеть Санкт-Петербурга:
1-25 – приведены в таблице на страницах 190-191

Необходимо подчеркнуть, что естественные положения русел крупных рек, таких как Мойка, Кривуша, Фонтанка были изменены. Забивка шпунтовых ограждений в воду и подсыпка берегов от прибрежной зоны песком, строительным мусором приводила к сокращению ширины рек и каналов, берега рек выравнивались, меандрические участки реки спрямлялись (рисунок 4.5).

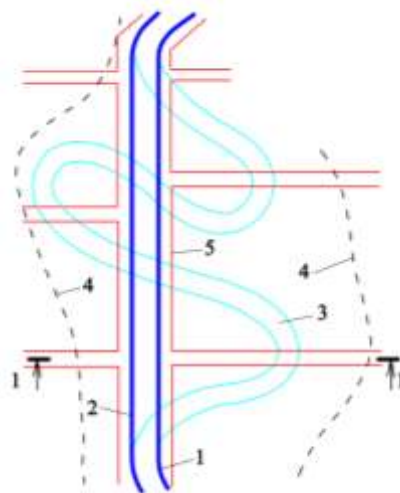


Рисунок 4.5 – Спрямливания русла реки:
1 – существующее русло, 2 – то же, проектируемое, 3 – засыпанное старое русло,
4 – границы затопления до спрямления русла, 5 – красная линия застройки

Как правило, выправительные работы осуществлялись вместе с углубительными (рисунок 4.6) [29, 90].

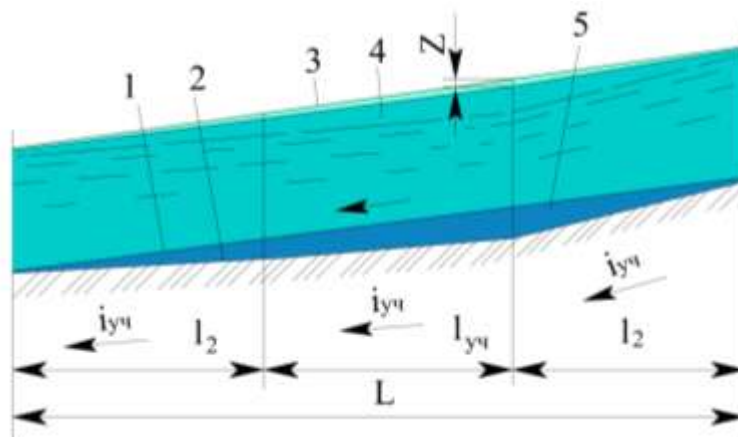


Рисунок 4.6 – Схема определения участка углубления русла реки:
1 – природное дно реки, 2 – проектное дно, 3 – естественный ГВВ, 4 – проектный ГВВ, 5 – извлекаемый грунт

Соответственно техногенные отложения при устройстве набережных имеют свои особенности по условиям залегания, изменению их мощности, вещественного и гранулометрического состава, а также физико-механических свойств, что непосредственно связано с историческим периодом их формирования (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Строительство набережных Санкт-Петербурга в 18-20 вв. [96]

№	Название набережной	Протяженность, м
18 век		
1	Английская (Красного флота)	1277
2	Дворцовая	1653
3	Кутузова	647
4	Воскресенская (Робеспьера)	1200
5	Смольная	3000
6	Синопская (Калашниковская)	2600
7	Макарова (Тучкова)	1700
8	Университетская	1173
9	Ждановская	1200
10	Петровская	1420
11	Петроградская	1500
19 век		
12	Аптекарская	2000
13	Песочная	1700
14	Адмирала Лазарева	
15	Адмиралтейская	456
16	Лейтенанта Шмидта	1366
17	Стрелка Васильевского острова	500
18	Мытнинская	350

Продолжение таблицы 4.2		
19	Строгоновская (Ушаковская)	970
20	Выборгская	1920
21	Свердловская (Палюстровская)	3200
22	Пироговская	527
23	Арсенальная	1080
20 век		
24	Малоохтинская	2000
25	Октябрьская	9000
26	Кронверкская	1100
К началу 20 века было построено 9759 м, а к середине 20 века — 19934 м. набережных.		

Строительство набережных представляло собой комплекс берегоукрепительных работ и в обязательном порядке сопровождалось отсыпкой техногенных отложений по берегам водотоков до отметок водоразделов [82, 143]. Кроме того, начиная с 19 века и до настоящего времени проектирование отметок подсыпаемой территории с использованием техногенных отложений производится методом вертикальной планировки с учетом наименьшей отметки, обеспечивающей незатопление местности при подъеме уровня воды в р. Неве в период относительно небольших и средних наводнениях (рисунок 4.7).

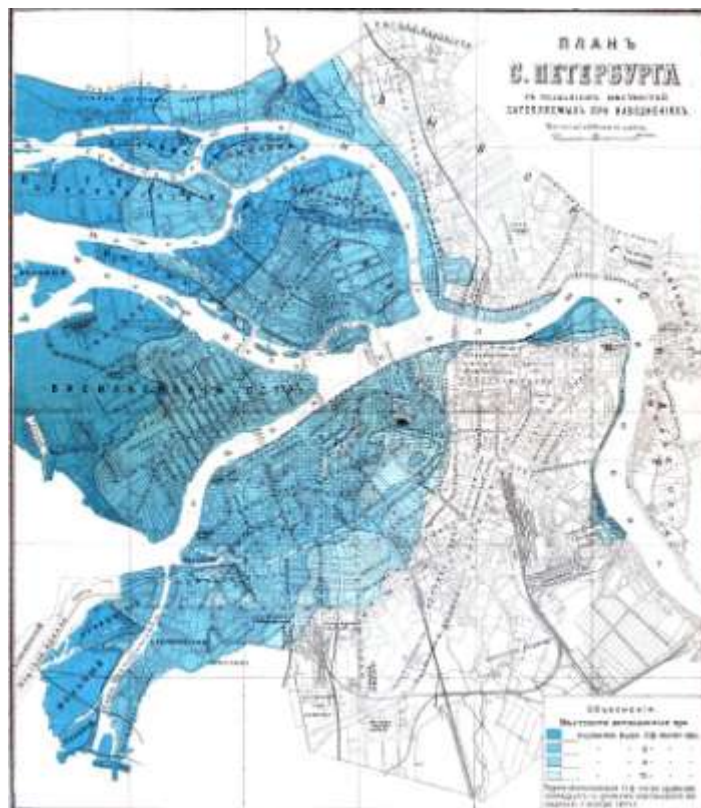


Рисунок 4.7 – План Санкт-Петербурга с указанием местностей, затопляемых при наводнении

Известно, что до основания Петербурга самое крупное наводнение произошло в 1691 году. В шведских летописях сказано, что водой была скрыта вся местность центральной части будущего города на двадцать пять футов высоты (7,62 метра). В начале XVIII века центральная часть города затапливалась при подъеме всего на 130-150 см. В начале XIX века наводнением считалось превышение среднего многолетнего уровня воды в Неве на 1,07 м (3,5 фута). Согласно статистическим данным, в XVIII столетии произошло 75, в XIX – 77, в XX – 138 наводнений, причем в первой половине XX столетия – 57, а во второй – 81 наводнение. Следует отметить, что за период существования города три наводнения (по одному на каждое столетие) были катастрофическими [14, 120]:

- 21 сентября 1777 года вода в Неве поднялась на 3 метра 21 сантиметр,
- 19 ноября 1824 года – на 4 метра 21 сантиметр,
- 23 сентября 1924 года - на 3 метра 80 сантиметров.

С 1982 года и по настоящее время высота подъема воды в Неве определяется относительно нуля Кронштадтского футштока (соответствует среднему уровню воды Балтийского моря у Кронштадта) или ординара Невы (последний выше нуля на 11 см, соответствует среднему уровню Невы у Горного университета). Таким образом, наводнением в Петербурге считается подъем воды выше 160 см над нулем Кронштадтского футштока или выше 150 см от ординара у Горного университета.

Кроме того, при подъеме зеркала грунтовых вод происходил активный вымыв загрязняющих веществ из накопителей нечистот, расположенных в каждом дворе в условиях отсутствия канализационной сети, что приводило к повышению содержания органических веществ, соединений азота, серы и др.

Отсыпка техногенных отложений производилась на всей территории, подверженной затоплению, т.е. расположенной ниже расчетной отметки высоких вод. Граница сплошной отсыпки определялась, исходя из расчетной отметки верхней бровки берегового откоса и превышения проектной поверхности за счет принятого уклона [29, 106]. Совпадение этих отметок с отметками существующего рельефа в конкретных точках территории определяло границу

отсыпки техногенных грунтов. В плане граница сплошной отсыпки располагалась на большем расстоянии от береговой линии, чем граница затопления, поскольку поверхности придавался уклон для стока воды. Следует отметить, что мощность техногенных отложений уменьшалась в сторону водораздела (граница отсыпки) в зависимости от характера, объема инженерной подготовки и конфигурации долины реки (рисунок 4.8). Объем техногенных отложений, необходимый для отсыпки затопляемой территории зависел от площади подсыпаемой территории и высоты насыпи.

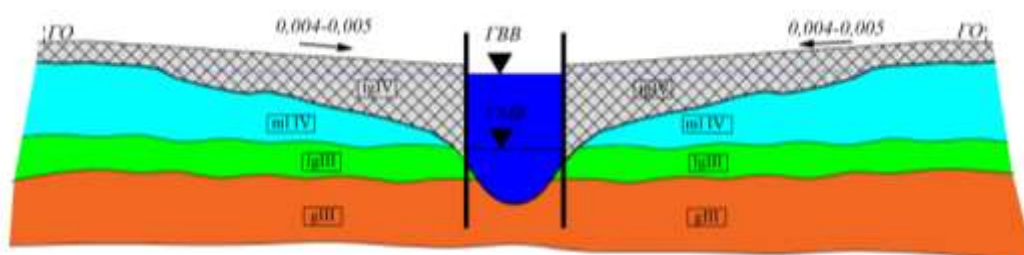


Рисунок 4.8 – Схематический разрез изменения мощности техногенных отложений по берегам рек и каналов при устройстве набережных (на низкой Литориновой террасе):

ГМВ — горизонт меженных вод; ГВВ — горизонт высоких вод; ГО — граница отсыпки

Повышение абсолютной отметки территории до незатопляемой путем сплошной отсыпки имело определенные достоинства в силу простоты исполнения, большой надежности и отсутствия дополнительных затрат, связанных с эксплуатацией подсыпанной территории. Однако следует иметь в виду, что вопросы использования резервов непригодных техногенных грунтов для целей отсыпки или замены их грунтами требуемого качества решались в каждом отдельном случае в зависимости от характера использования территории и ее застройки, а также выделяемых средств. Так, применение строительного и бытового мусора для отсыпки создает дополнительную нагрузку на слабую водонасыщенную грунтовую толщу, что приводит к увеличению горизонтального давления на ограждающую конструкцию и в условиях отсутствия и/или заземления нижней части шпунтового ограждения, возможно формирование оползней в береговой зоне

Если использовать загрязненные техногенные отложения, то происходит контаминация дисперсных грунтов, что может негативно сказаться на снижении их прочности и деформационной способности.

Известно, что в начале 18 века на берегах рек устраивались деревянные набережные, а со второй половины 18 века после двух крупных наводнений начала производиться облицовка гранитом [110]. Выбор типа набережной (одноярусной или двухъярусной) производился исходя из архитектурно-планировочных соображений, функционального назначения прилегающей территории и конфигурации долины реки (рисунок 4.9). Как правило, в центральных частях города использовались набережные с вертикальной стенкой (одноярусные), которые имели отметку по верху не менее чем на 0,5 м выше горизонта высоких вод, т.е. они были незатопляемыми.

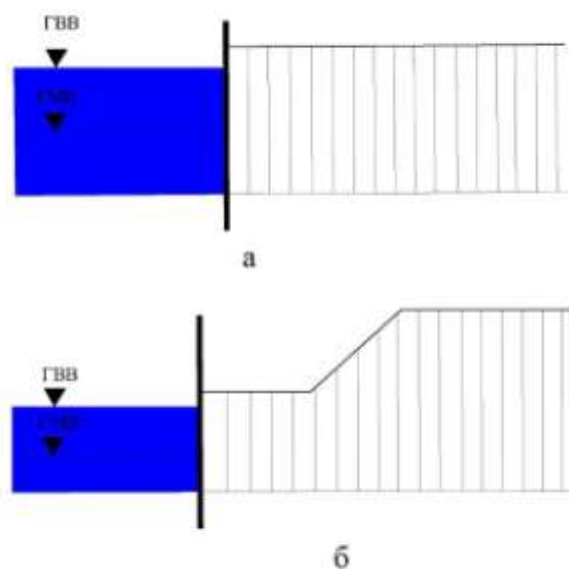


Рисунок 4.9 – Типы набережных: а – одноярусная набережная с подпорной стенкой, б – двухъярусная набережная (с откосом и подпорной стенкой)

Положение набережной на прибрежной полосе фиксировано линией регулирования реки, которую назначают с параллельными берегами и постоянной шириной водного зеркала, что продиктовано архитектурными и гидрологическими требованиями.

Описываемые конструкции состоят из тонких подпорных стенок (больверков). Лицевая плоскость стенок образуется чаще всего железобетонными шпунтовыми ограждениями. Важнейшим классификационным признаком тонких

подпорных стенок является наличие или отсутствие анкерных устройств. Стенки, не имеющие таких устройств, называются безанкерными, а имеющие их – заанкерованными [23]. Конструкция и расположение анкеров существенно влияют на схему работы сооружения и его несущую способность.

Ширина перемещения береговой полосы достигала иногда нескольких десятков и сотен метров. Большой частью современный берег продвинулся в сторону реки: у Летнего сада - на 50 м, у Зимнего дворца - на 90 м, на стрелке Васильевского острова почти - на 133 м, а в районе Пироговской набережной - на 150-200 м (рисунок 4.10, 4.11).

Необходимо принимать во внимание, что инженерные коммуникации, в том числе региональные системы водоотведения часто проложены в прибрежной зоне водотоков. При этом, значительные утечки из вышедших из строя канализационных систем, способствуют образованию куполов подтопления в местах устройства практически водонепроницаемых конструкций набережных, а также загрязнению грунтов на большую глубину, что негативно сказывается на показателях физико-механических свойств грунтов, в том числе снижении прочности, формируя опасность увеличения активного давления на вертикальную конструкцию подпорной стенки. Особенно в зонах подмываемых берегов реальным является развитие оползневых смещений при значительной глубине реки (правый берег р. Невы в районе Арсенальной набережной). Мощный оползень произошел в 1979 году в районе Арсенальной набережной после ее ремонта и уменьшения заглубления шпунтового ограждения: железобетонные конструкции были заделаны в озерно-ледниковые отложения, а не в более плотные и прочные моренные грунты. Следует отметить, что воздействие загрязненных грунтовых вод способствует развитию коррозии железобетонных шпунтовых ограждений, что сопровождается ростом их проницаемости и преждевременным разрушением, о чем свидетельствуют постоянно образующие высолы на поверхности гранитной облицовки каналов и рек (рисунок 4.12).

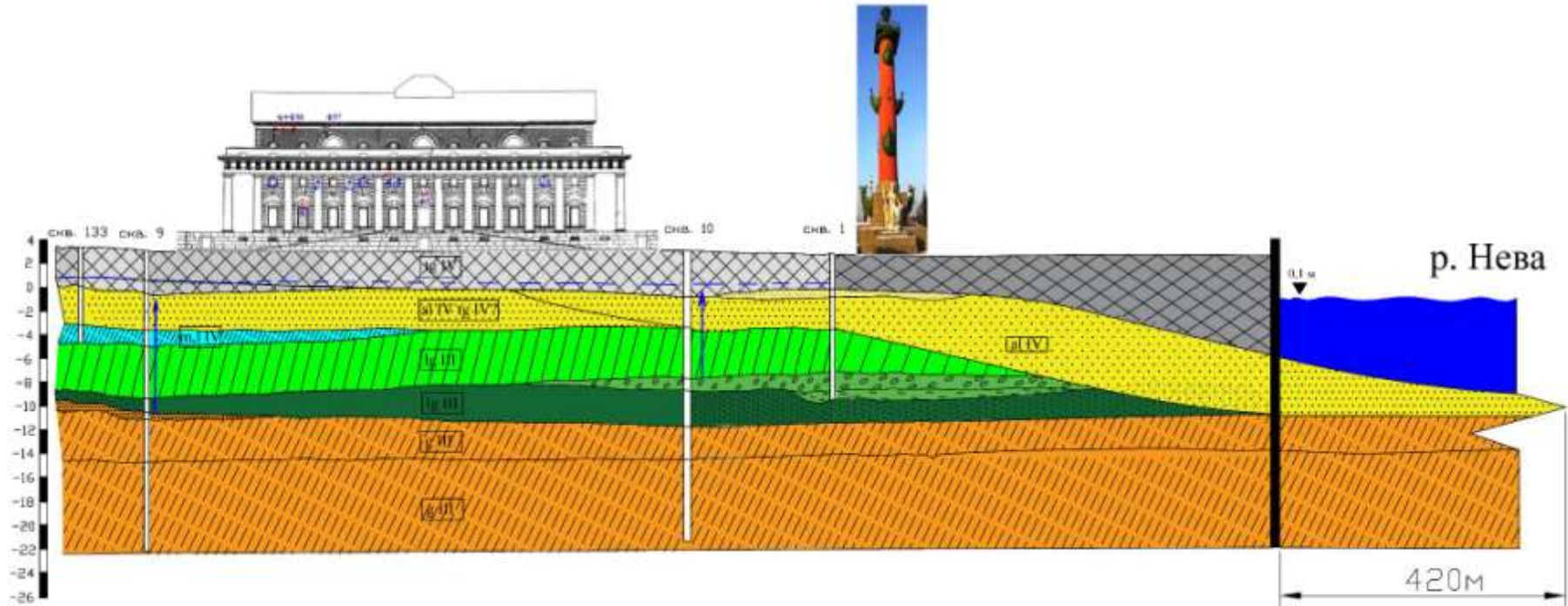


Рисунок 4.10 – Схематический разрез стрелки Васильевского острова с учетом инженерных работ, выполненных в начале 19 века
 Масштаб вертикальный – 1:200
 Масштаб горизонтальный – 1:1800

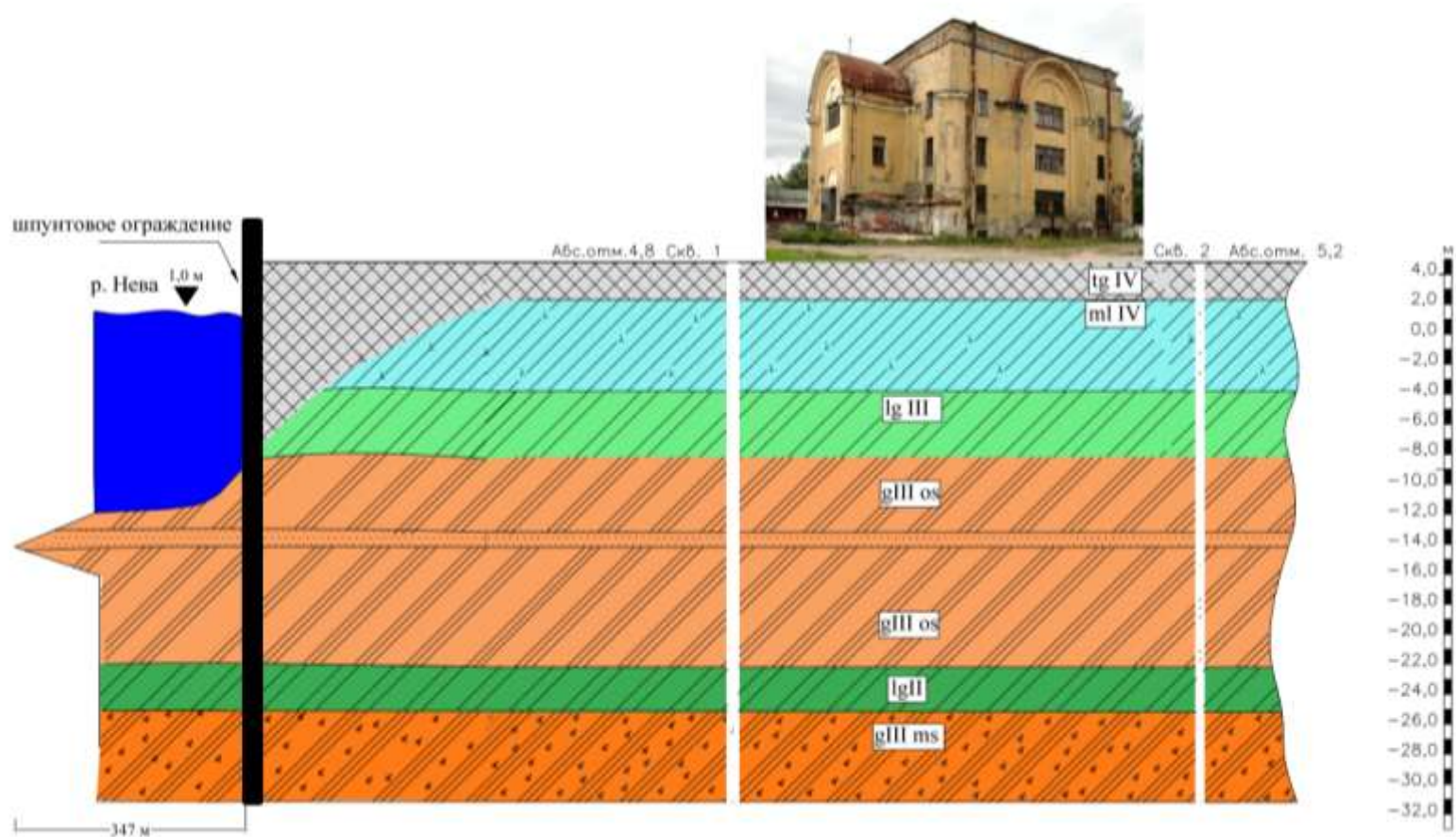


Рисунок 4.11 – Схематический геолого-литологический разрез района Октябрьской набережной (20 век)

Масштаб вертикальный – 1:200

Масштаб горизонтальный – 1:1500

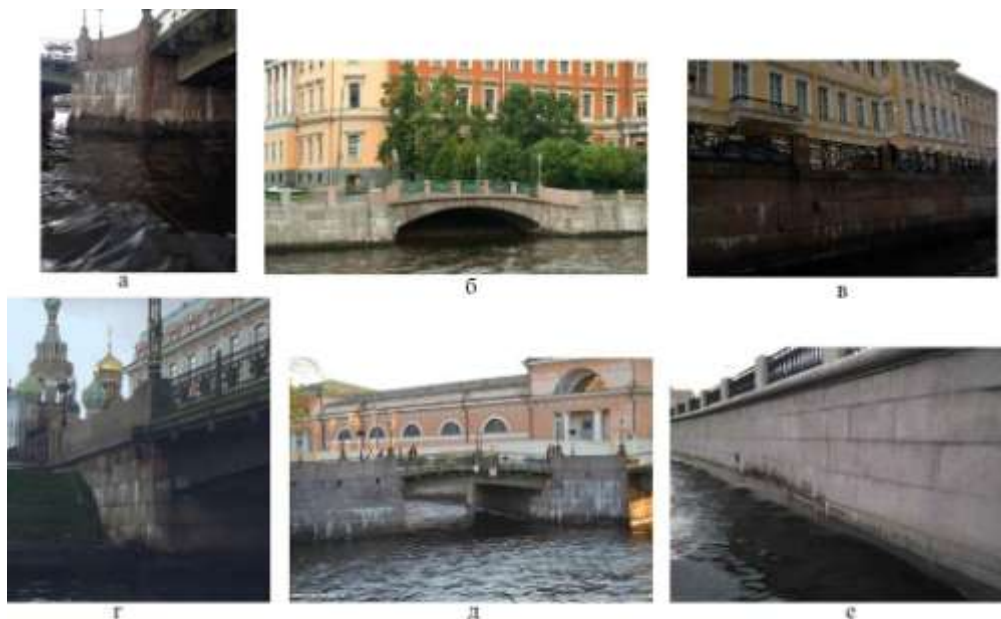


Рисунок 4.12 – Развитие коррозии железобетонных шпунтовых ограждений:
 а) набережная р. Мойки; б) набережная р. Фонтанки; в) набережная р. Фонтанки;
 г) набережная канала Грибоедова; д) набережная канала Грибоедова;
 е) Ушаковская набережная

Кроме того, прибрежная часть рек и каналов находится в зоне влияния транспортных магистралей, где вибрационное воздействие на грунты может приводить к их тиксотропному разупрочнению и разжижению, разрушению структурных связей, снижению прочности и другим негативным процессам, способствующим развитию оползневых смещений.

Вместе с тем, для проведения корректной стратификации разреза и соответственно инженерно-геологической оценки техногенных образований необходимо знать историю инженерной подготовки в процессе освоения территории, особенно в пределах островной части города на протяжении всего периода его функционирования, а также в предшествующую эпоху, что особенно принципиально для дельтовых городов. Так, изучение опыта проектирования и строительства набережных Невы, а также характера развития инженерных работ в прибрежной части имеет практическое значение, связанное с реконструкцией инженерных сетей, подземных частей старинных зданий, однородности и инженерно-геологической оценки строения основания зданий, имеющих историко-архитектурное значение.

Кроме того, для расширения площади городской застройки производилась засыпка малых рек с притоками и различных водоемов, которые с момента основания города и ранее служили для сброса жидких и твердых хозяйственно-бытовых отходов.

Общая протяженность естественных водотоков и каналов, засыпанных на системе р. Невы в 18-21 вв. составила примерно 123 км. На протяжении всего периода функционирования Санкт-Петербурга было заключено в трубы или засыпано около 50 рек и протоков.

Влияние инженерной деятельности приобрело более развернутый масштаб в конце 50-х начале 60-х годов XX века в связи с поиском резервных площадей для строительства. В этот период в связи с высокой плотностью застройки различных районов Санкт-Петербурга территории, которые даже при небольших наводнениях затапливались, стали рассматриваться в качестве перспективной жилищной и промышленной застройки. В связи с этим, было принято решение о рефулировании низких прибрежных участков грунтом, поднятым со дна Невской губы и Финского залива: засыпан мелководный пролив между островами Декабристов и Вольный, и острова превращены в общий массив жилой застройки, соединены также острова Гутуевский, Вольный (Круглый) и Большой Резвый, почти полностью намыта юго-восточная часть Невской губы. Интенсивно проводился намыв территории и в Приморском районе: Старая Деревня, Комендантский аэродром и озеро Долгое. После намыва на этих площадях построены новые жилые кварталы и разбиты парки: парк 300-летия Санкт-Петербурга, Южно-Приморский парк. Известно, что максимальная мощность намывного грунта фиксируется на Крестовском острове – в районе стадиона им. Кирова. В том числе в результате намывных работ в устье Большой Невы создан искусственный Белый остров, где разместилась Центральная станция аэрации.

Следует отметить, что на острове Декабристов намытые грунты в течение 4-х лет не могли использоваться для строительства в силу отсутствия их консолидации. В связи с этим отказались от проектирования зданий высокой этажности (более 33 этажей) и был осуществлён пересмотр всех типов

фундаментов. Кроме того, на намывные отложения была произведена отсыпка строительных отходов для прокладки дорог с целью проведения строительных работ.

Необходимо отметить, что пески и супеси со дна Невской губы и Финского залива, следует рассматривать как постоянный источник загрязнения подземных вод и грунтов органическими соединениями, микробиотой, а также тяжелыми металлами. Кроме того, намыв песчано-супесчаных грунтов производился на болотные отложения, которые часто не снимались, что способствовало усилению воздействия органического вещества на формирование окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий в подземной среде, о чем свидетельствуют данные исследования грунтовых и напорных вод, проведенные в северо-западной части Васильевского острова в тальвеговой зоны палеодолины реки Смоленки. На данном участке намыв техногенных грунтов производился с использованием донных отложений Невской губы, характеризующихся высокой степенью контаминации по содержанию тяжелых металлов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Содержание тяжелых металлов в техногенных намывных отложениях [162]

Элемент	Концентрации, мг/кг в интервалах глубин, м	
	3,0-3,5	4,0-4,5
As	<0,1	<0,1
Cd	0,07	0,05
Co	<0,005	<0,005
Cr	0,205	0,170
Cu	8,5	7,0
Fe	290,0	365,0
Mn	8,0	6,5
Mo	<0,005	<0,005
Ni	1,2	0,6
Pb	7,5	2,6
Zn	31,0	8,0
Hg	0,06	0,09

Динамика загрязнения грунтовых и напорных вод связана с историей инженерного и хозяйственного освоения рассматриваемой местности (таблица 4.4). Наиболее активное поступление контаминантов в обводненную

толщугрунтовнаблюдалосьещев18векеипродолжалосьв20векезасчетразмещениясвалокхозяйственно-бытовыхотходов.Вначале20векавэтомрайонерасполагалиськеросиновыесклады.

Таблица 4.4 – Химический анализ подземных вод в разрезе палеодолины реки Смоленки в северо-западной части Васильевского острова

Элементы	Ед. изм.	1-ый водоносный горизонт *			2-ой водоносный горизонт **			3-ий водоносный горизонт ***	
		1	8	9	1	2	8	4	8
Скважина									
Глубина отбора	м	5,8	4,05	9,0	17,5	16,7	18,0	59,6	38,5
pH	-	6,78	6,71	6,66	6,74	6,56	6,95	6,94	6,64
Na ⁺ +K ⁺	мг/дм ³	699,2	70,2	887,1	838,4	796,7	667,7	819,3	111,1
Ca ²⁺	мг/дм ³	190,4	150,3	260,5	320,6	280,6	320,6	350,7	180,4
Mg ²⁺	мг/дм ³	133,7	42,5	148,8	133,6	179,2	130,6	164,0	85,0
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	40,0	22,0	15,0	40,0	30,0	30,0	22,0	30,0
Cl ⁻	мг/дм ³	1421,0	184,3	1761,9	1897	1878,8	1524,4	1836,3	200,3
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	786,0	427,0	884,5	735,0	732	854,0	945,5	945,5
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	13,6	151,0	23,0	13,6	7,0	26,8	28,4	70,4
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	1,0	<0,1	2,2	1,3	2,4	1,2	2,4	<0,1
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	0,05	0,05	0,03
Fe ²⁺	мг/дм ³	70,0	18,0	24,0	80,0	12,0	150,0	30,0	60,0
Fe ³⁺	мг/дм ³	0,5	20,0	16,0	<0,3	15,0	22,5	12,0	6,0
нефтепродукты	мг/дм ³	0,4	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3
CO ₂ св.	мг/дм ³	57,05	211,2	69,3	65,2	81,5	244,5	114,1	87,6
CO ₂ агр.	мг/дм ³	24,7	211,2	0	2,2	5,5	9,9	-	22,0
Сухой остаток	мг/дм ³	2991,0	1033,0	3676,0	3842	3845	3109	4034,0	1157,0
Минерализация	мг/дм ³	3286,2	1047,3	3980,0	3979	3906	3555	4168,6	1622,7
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /дм ³	52	36,0	37,6	68,0	36,8	44,0	32,0	36,0
Гумус	мг/дм ³	33,6	23,3	24,3	44,0	23,8	28,5	20,7	23,3
ХПК	мгО ₂ /дм ³	376,0	122,2	479,0	432,4	460,6	338,4	244,4	75,2
Жесткость общая	°Ж	20,5	11,0	25,3	27,0	28,8	26,8	31,0	16,0
Жесткость карбонатная	°Ж	12,5	7,0	14,5	12,0	12,0	12,8	15,5	15,5

Примечание: Водоносные горизонты в отложениях: * - техногенных, ** - озерно-морских, *** - песчаные линзы в ледниковых.

Таким образом, до середины 20 века загрязнение подземного пространства шло, в основном, за счет абиогенных и биогенных компонентов, что привело к аномально высокому значению перманганатной и бихроматной окисляемости (ХПК). Высокое содержание органики предопределило низкую величину pH, замеры которой были осуществлены в лабораторных условиях, что

способствовало повышению значения этого параметра на 2-3 единицы, как уже неоднократно высказывалось ранее. Значительное содержание Cl^- и Na^+ в рассматриваемых водоносных горизонтах обусловлено восходящим перетеканием хлоридных натриевых вод вендского водоносного комплекса через дезинтегрированный маломощный водоупор тальвега палеодолины под действием высоких напоров.

Вместе с тем, подземные воды характеризуются повышенным содержанием иона аммония, что связано со складированием хозяйственно-бытовых отходов. В отдельных точках отмечено высокое значение агрессивной углекислоты, достигающей 211 мг/дм^3 , что доказывает активность микробных процессов – диоксид углерода как продукта дыхания микроорганизмов.

Наличие болотных отложений в разрезе песчано-глинистой толщи и контаминации подземной среды за счет хозяйственно-бытовых свалок привела к активному развитию микроорганизмов, жизнедеятельность которых приводит к трансформации состава, состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов (таблица 4.5). Относительно низкие значения ММ для сильно загрязненных грунтов объясняются активными процессами газообразования, при которых происходит утилизация продуктов метаболизма биоценозами как дополнительного энергетического субстрата.

Таблица 4.5 – Показатели физико-механических свойств различных инженерно-геологических типов в разрезе намывной территории

Геол. индекс	Глубина, м	Наименование грунта	Показатели свойств					Среднее значение ММ по методу Бредфорда, мкг/г
			Физические			Сопротивление сдвигу		
			W, %	$\rho_{\text{ск}}, \text{ г/см}^3$	$I_L, \text{ д.е.}$	$\varphi, \text{ град}$	c, МПа	
ml IV	5,5-10,0	супеси с различным содержанием органики	28	1,47	0,79	5	0,020	114
	10,0-15,0		36	1,32	1,53	5	0,025	65
lgIIIб	19,0-25,0	супеси и суглинки	36	1,38	1,53	4	0,028	104
	25,0-35,0	глины ленточные	36	1,38	1,03	-	-	105

Продолжение таблицы 4.5								
gIIIz	40,0-56,0	супеси и суглинки	20	1,8	0,29	0	0,08	82
lgII- lgIII	55,0-78,0		17	-	0,34	0	0,07	120
gIIms	78,0-84,0		12	-	0,07	0	0,084	98

Примечание: Приведены средние значения показателей физико-механических свойств грунтов. Показатели с и ф определялись в условиях трехосного сжатия по схеме НН.

W – влажность, $\rho_{ск}$ – плотность скелета, I_L – показатель консистенции

4.2 Формирование инженерно-геологических условий в прибрежной зоне рек и каналов города

Особенно негативную роль в загрязнение ПП внесли проходимые в разные исторические периоды каналы, устройство которых производилось с различными целями: осушительными, судоходными, для подачи питьевой воды, а также в целях безопасности и обороны. Нередко для засыпки водоемов, каналов использовали хозяйственно-бытовой мусор и строительные отходы, что приводило к повышению содержания органических соединений (белков, липидов, углеводов, растительных коллоидов), а также обогащению различными группами микроорганизмов. Следовательно, зоны засыпанных водотоков представляют своеобразные очаги (резервуары) загрязнения, где наблюдается локальное преобразование грунтовых вод: рост их минерализации, формирование застойного режима, а также негативное изменение состава, состояния и физико-механических свойств грунтовой толщи в контактных зонах с засыпанными водотоками.

Как было отмечено ранее, в практике инженерно-геологических исследований при проектировании и строительстве сооружений различного назначения совершенно не учитывается изменение мощности техногенных отложений и зачастую предполагают, что данные грунты в пределах нижней Литориновой террасы обычно относят к послеледниковым (озерно-морским) разностям, в которых отсутствуют органические соединения, либо грядовым отложениям.

В качестве примера можно привести засыпку Лиговского канала, на месте ныне существующего Лиговского проспекта. Лиговский канал, протяженностью более 21 км, был сооружён в 1718-1721 годах по проекту Г.Г. Скорнякова-Писарева для снабжения города питьевой водой [44]. Канал начинался на юго-западе у реки Лиги (ныне река Дудергофка), вытекающей из Дудергофского озера, проходил вдоль старой Новгородской дороги (ныне Лиговский проспект) и заканчивался искусственным бассейном, который располагался на углу улицы Некрасова (бывшая Бассейная улица) и Греческого проспекта. В 1725-1727 годах от бассейна были проложены трубы, по которым подавалась вода к фонтанам Летнего сада.

В 1777 году в городе произошло наводнение, в результате которого берега канала осыпались, вода стала мутной, её перестали использовать для питья. Кроме того, буря разрушила фонтаны в Летнем саду. Екатерина II решила фонтаны не восстанавливать и канал потерял свою значимость. В 1780-х годах, его водами стали наполнять пруды Таврического сада.

С середине XIX века Лиговский канал использовался домовладельцами для удаления различного рода нечистот путем противозаконного соединения домовых сточных труб с городскими. В результате количество выпусков уличной канализации в Лиговский канал увеличилось настолько, что фактически превратило его в открытый канализационный коллектор, о чем свидетельствуют данные химического состава воды, опубликованные профессором Драгендорфом в журнале «Архивы судебной медицины» 1865 года [71]. Следует отметить, что химический состав грунтовых вод вблизи реки Мурзинка, где отмечается интенсивная контаминация за счет нескольких источников: заболоченные массивы, старое хранилище реагентов, утечки из подземных коммуникаций, железнодорожные пути и кладбища, не отличается такими высокими значениями, как вода каналов (таблица 4.6).

В связи с тем, что канал утратил свое первоначальное значение 5 июля 1891 года было принято решение о его ликвидации. Засыпка Лиговского канала происходила в несколько этапов с использованием грунтов, извлеченных при

дноуглублении и расчистке малых рек, а также частично с помощью строительного мусора I этап: 1891-1892 гг. - засыпан Лиговский бассейн (между Лиговским пр., ул. Некрасова, греческим пр. и Прудковским пер.) и участок от бассейна до Обводного канала, II этап: 1926 г. – от Обводного канала до Московского проспекта, III этап: 1965-1969 гг. – от Московского проспекта до пересечения с Краснопутиловской улицей (рисунок 4.13).

Таблица 4.6 – Химический состав воды: Лиговского канала по материалам 1865 года (1) и грунтовых вод вблизи р. Мурзинка (2)

Определяемые показатели	Ед. изм.	Результаты исследований	
		1	2
Минерализация	мг/дм ³	340,18	783,64
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /дм ³	31,40	16,8
ХПК	мгО ₂ /дм ³	не опред.	211,7
БПК	мгО ₂ /дм ³	не опред.	30,6
Окись железа+глинозем	мг/дм ³	28,10	1,43
SiO ₂	мг/дм ³	34,92	не опред.
Ca ²⁺	мг/дм ³	41,84	74,1
Mg ²⁺	мг/дм ³	64,58	3,6
K ⁺	мг/дм ³	16,21	167,0
Na ⁺	мг/дм ³	15,60	
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	19,83	81,0
Cl ⁻	мг/дм ³	26,14	24,0
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	203,30	427,0
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	не опред.	5,2
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	не опред.	1,6
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	не опред.	0,14
Степень жёсткости	°Ж	11,81	4,0

Следует отметить, что место засыпанного Лиговского бассейна не застраивалось, здесь на протяжении более 100 лет (с 1883 года) существовал сквер (1893 г. – Греческий сад, 1922 г. – Некрасовский сквер). Несмотря на промывной водный режим за счет атмосферных осадков и отсутствия асфальтового покрытия, в пробах грунтовых вод наблюдается значительное содержание органических соединений с различной степенью окисляемости, а также сохраняется высокое значение сульфатов и хлоридов (таблица 4.7).



Рисунок 4.13 – Исторические этапы ликвидации Лиговского канала

Таблица 4.7 – Химический состав грунтовых вод на территории Некрасовского садика (режимная скважина 2023 Б)

Определяемые показатели	Ед. изм.	Результаты исследований
Ca ²⁺	мг/дм ³	130,0
Mg ²⁺	мг/дм ³	69,6
K ⁺ +Na ⁺	мг/дм ³	7,13
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	2,9
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	152,0
Cl ⁻	мг/дм ³	240,0
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	579,5
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	1,4
NO ₂ ⁻	мг/дм ³	0,102
Минерализация	мг/дм ³	1184,90
Жесткость общая	°Ж	12,3
Жесткость карбонатная	°Ж	9,5
Жесткость некарбонатная	°Ж	2,8
Fe ²⁺ +Fe ³⁺	мг/дм ³	2,27
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /дм ³	22,4
ХПК	мгО ₂ /дм ³	77,6
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	6,3
CO ₂ агрес	мг/дм ³	22,0
H ₂ S	мг/дм ³	0,48
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,047
pH*	-	6,86
Eh*	mv	13,7
Температура воды	°	9,6
Уровень грунтовых вод	м	2,55

* - показатели pH и Eh определялись в лабораторных условиях

Особо следует обратить внимание, что при опробовании скважины отмечался ярко выраженный запах сероводорода. Как известно, сероводород является продуктом жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, активность которых способствует снижению Eh и pH при генерации сероводорода. Значения pH и Eh определялись в лабораторных условиях, в которых наблюдается интенсивное окисление органического вещества и переход H_2S в сульфатную форму. Следовательно, при таком содержании органики эти показатели варьируют в других пределах: Eh - (-50)-(-70) mV и ниже, а pH снижается до 4 и менее.

Следует подчеркнуть, что уничтожение засыпанных каналов на территории города создает благоприятные условия для развития анаэробных гетеротрофных форм микробиоты, способных разлагать органическое вещество с образованием газов биохимического генезиса с различной степенью растворимости.

Таким образом, участки ликвидированной гидрографической сети на территории города служат зонами возможного биохимического газообразования, что имеет принципиальное значение для проектирования и строительства сооружений.

Создание картографического материала с указанием площадей засыпки гидрографической сети способствует повышению степени инженерно-геологической информации и соответственно снижению аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации сооружений различного назначения.

В качестве примера можно привести инвентаризационную карту, названную «Санитарно-техническая и топографическая карта города и острова Нью-Йорка», отражающая исторический характер хозяйственного использования местности, которая была разработана инженером и топографом Egbert Viele (Эгбертом Л. Вьеля) для территории Нью-Йорка, основанного в начале XVII века голландскими колонистами (рисунок 4.14).



- действующие болота
 - погребенные болотные отложения
 - насыпные грунты

Рисунок 4.14 – Санитарно-техническая и топографическая карта города и острова Нью-Йорка, подготовленная Советом гигиены и общественного здравоохранения Ассоциации граждан под руководством инженера-топографа Эгберта Вьеля (Egbert Viele) в 1865 году

Основой для создания карты (и воссоздания водной системы Манхэттена), опубликованной еще в 1865 году, послужили ранние изыскания, старинные картографические материалы и архивные обследования Джона Рэнделя 1807 года [126]. Этой картой пользовались и пользуются до сих пор при создании проектов освоения ПП города и строительства наземных сооружений, дорог и пр.

Так, например, еще в 19 веке архитектор Пол Старт, который построил Эмпайр-Стейт-Билдинг (Empire State Building) – 103-этажный небоскреб и район Бедфорд — Стайвесант (Bedford–Stuyvesant), использовал эту карту для подготовки сметы расходов на строительство с учетом сложности инженерно-геологических условий, что было определено наличием специфических водонасыщенных неустойчивых грунтов. Подобная карта, на которую нанесены засыпанные каналы, реки, мелкие водотоки, болота, водосборные бассейны, существовавшие до интенсивного развития городской инфраструктуры, предназначена для целей планирования площадей застройки и является «настолярной книгой» инженеров, строителей и архитекторов.

Вместе с тем, в Санкт-Петербурге, одном из самых крупных дельтовых городов России: 193 водных объекта, общей протяжённостью 282 км, длительность освоения которого насчитывает свыше двух тысячелетий, такой карты не существует.

По результатам исследований для территории Санкт-Петербурга была 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 инженерно-геологические условия с учетом специфики исторического аспекта развития городской инфраструктуры, а также освоения рассматриваемой территории в допетровскую эпоху (рисунок 4.15).

Представленная схематическая карта позволяет более детально рассмотреть преобразование не только погребенных болотных отложений и песчано-глинистых грунтов с органическими остатками, которые преобладают на территории города в верхней части разреза с максимальными абсолютными

Дворец Юсуповых на Мойке (Юсуповский дворец) — памятник истории и культуры федерального значения, построенный по проекту Жана-Батиста Валлен-Деламота для графа Андрея Петровича Шувалова. Основной корпус дворца Юсуповых был возведен в 1760 г., к которому позднее были пристроены здания (1830-е гг.) без устройства полнопрофильных деформационных швов.

Территория размещения Юсуповского дворца находится в пределах западной части Казанского острова и приурочена к склону погребенной долины пра-Невы. Геолого-литологический разрез территории характерен для низкой Литориновой террасы, абсолютные отметки земной поверхности составляют 2,5-3,0 м (рисунок 4.16). В геологическом строении территории принимает участие комплекс современных, позднеледниковых и ледниковых отложений, а также коренные глины верхнего венда. Кровля коренных глин вскрывается на глубине 28 м от поверхности.

По проекту под несущие стены дворца были устроены бутовые и кирпично-бутовые фундаменты на известковом растворе. Глубина заложения фундаментов варьирует от 2,10 до 2,30 м (восточное крыло) до 3,60-3,80 м (стена со стороны двора), ширина подошвы фундамента составляет 1,40-2,0 м. В 20 веке фундаменты здания были усилены бутобетоном под фасадными стенами со стороны двора и сада, где развивались трещины. В настоящее время состояние фундаментов оценивается как неудовлетворительное, отмечается выщелачивание материала кладки бутового фундамента и дезинтеграция кирпича.

Следует отметить, что один из залов Юсуповского дворца – Мавританская гостиная возведен на месте ликвидированного (безымянного) канала, который по кратчайшему расстоянию соединял р. Мойку с р. Кривушей. Канал просуществовал шесть лет с 1758 по 1764 гг., что подтверждается картографическими данными. Выполненные геофизические исследования в 2011 году подтвердили существование засыпанного канала (рисунок 4.17).

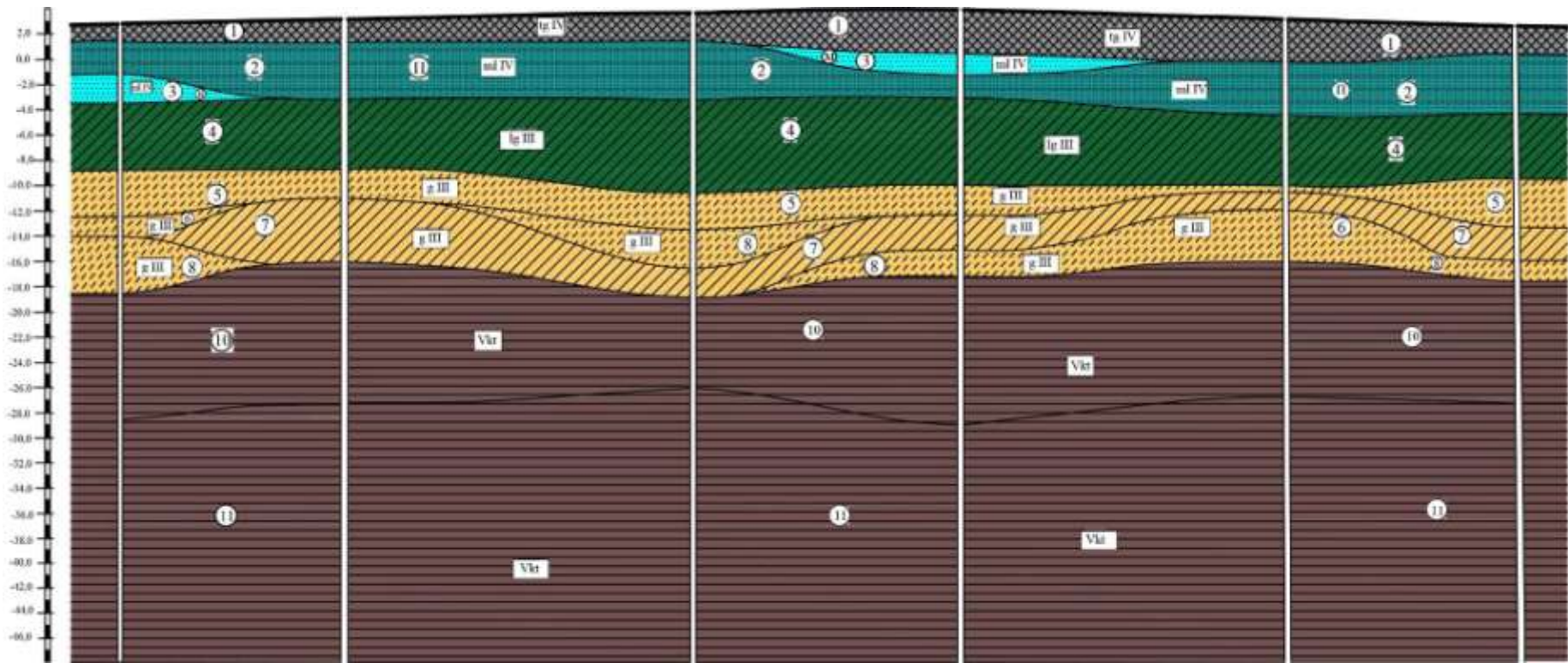


Рисунок 4.16 – Геолого-литологический разрез территории размещения Юсуповского дворца

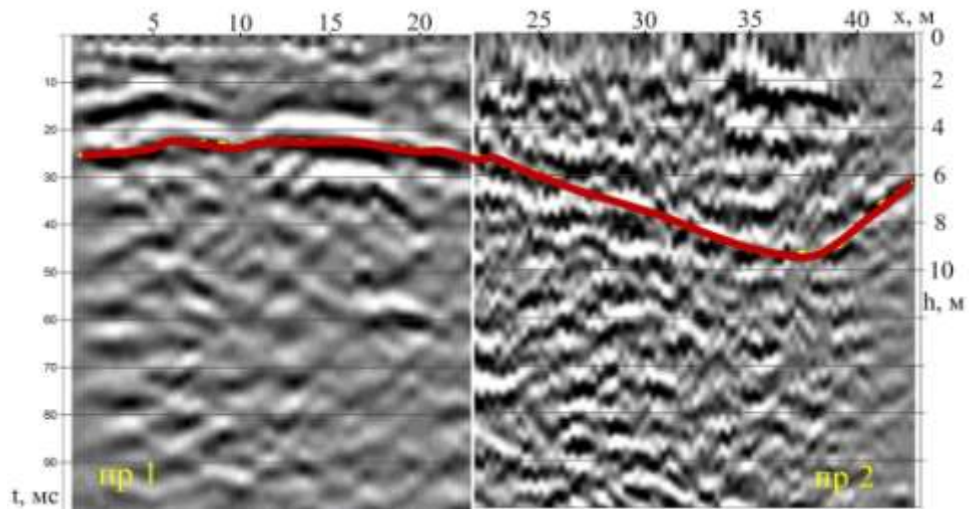


Рисунок 4.17 – Сводный временной разрез по профилям 1 и 2

На сводном разрезе по двум профилям отчетливо фиксируется специфика разреза: явное понижение, которое можно интерпретировать как погребенное русло этого канала, засыпанного техногенными грунтами, мощностью от 2,0 до 2,9 м, возрастающей по направлению к р. Мойка. Характерным признаком рассматриваемых техногенных грунтов служит наличие органических остатков - потери при прокаливании составляют более 2 %.

Территория, на которой размещается Юсуповский дворец, до ее освоения была заболочена. Как уже отмечалось ранее, наибольшее влияние содержание органики оказывает на подстилающие водонасыщенные пески, которые могут проявлять плавунные свойства вне зависимости от их гранулометрического состава. В таких песках отмечается снижение фильтрационной способности, коэффициент фильтрации составляет $n \cdot 10^{-4}$ м/сут. Обычно пески с содержанием органической компоненты имеют углы внутреннего трения 10-12°.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием подземных вод, приуроченных к техногенным насыпным грунтам, к современным четвертичным озерно-морским пескам, а также к линзам, гнездам и прослоям песков в супесях и суглинках в верхнечетвертичных отложениях озерно-ледникового и ледникового генезисов.

Состав грунтовых вод изменяется с глубиной, если на отметке 0,5 м вода имеет гидрокарбонатно-магниевый состав, то начиная с глубины 1,4 м состав

гидрокарбонатно-кальциевый, с повышенным содержанием кальция (таблица 4.8). Это можно объяснить тем, что кальций вымывается из кладки бута известняка и известковых растворов фундаментов Юсуповского дворца. По показателю pH воды кислые, близкие к нейтральным. Высокая окисляемость объясняется повышенным содержанием органической компоненты в грунтах.

По данным исследования химического состава воды, отобранной из шурфа (2008 г.), содержание легкоокисляемой органики достигало $124 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Воды имеют низкую минерализацию за счет разбавления проточной водой р. Мойки, замеры параметра Eh в створе р.Мойки свидетельствовали о повышении этого показателя до $+25 \text{ mV}$.

Таблица 4.8 – Химический состав грунтовых вод в основании Юсуповского дворца (по данным ЛенТИСИЗа)

Элементы анализа	Ед. измерения	Глубина взятия пробы, м	
		1,9	2,1
Ca^{2+}	$\text{мг}/\text{дм}^3$	72,1	74,1
Mg^{2+}	$\text{мг}/\text{дм}^3$	9,7	13,4
$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	$\text{мг}/\text{дм}^3$	128,3	51,0
NH_4^+	$\text{мг}/\text{дм}^3$	2,1	1,9-
SO_4^{2-}	$\text{мг}/\text{дм}^3$	25,5	36,2
Cl^-	$\text{мг}/\text{дм}^3$	60,3	37,9
HCO_3^-	$\text{мг}/\text{дм}^3$	479,0	323,4
NO_3^-	$\text{мг}/\text{дм}^3$	1,6	0,5
Минерализация	$\text{мг}/\text{дм}^3$	779,9	538,6
Жесткость общая	$\text{мг-экв}/\text{дм}^3$	4,4	4,8
$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	$\text{мг}/\text{дм}^3$	1,3	0,2
Перманганатная окисляемость	$\text{мгО}_2/\text{дм}^3$	23,2	12,8
CO_2 агрес	$\text{мг}/\text{дм}^3$	нет	13,2
pH*	-	7,0	6,8

Примечание: pH* - определялось в лабораторных условиях

Восстановительная среда, наличие органических соединений способствует активизации деятельности гетеротрофных форм микроорганизмов, прежде всего сульфатредуцирующих бактерий, генерирующих сероводород, присутствие которого фиксировалось в грунтовых водах. В разрезе грунтов повсеместно отмечены образования гидротроилита ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Тепловыделение, из проложенной по периметру Юсуповского дворца теплотрассы, способствует увеличению скорости протекания физико-химических

и биохимических процессов, росту численности микробиоты, повышению степени газонасыщения грунтов.

Загрязнение песчано-глинистых грунтов органическими соединениями приводит к снижению параметров физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов в разрезе Юсуповского дворца (таблица 4.9). Глинистые грунты четвертичного возраста следует рассматривать как квазипластичные разности ($\varphi < 5$ град.) с низкой несущей способностью. Песчаные разности в восстановительной обстановке, где отсутствуют соединения трехвалентного железа, в условиях загрязнения органическими соединениями при различном гранулометрическом составе обладают плавунными свойствами, повышается содержание коллоидов и тонкодисперсных фракций, влияющих на увеличение степени гидрофильности пород и их влагоемкости.

Таблица 4.9 – Параметры физико-механических свойств песчано-глинистых отложений в основании Юсуповского дворца

Геол. индекс	Наименование грунта	Показатели свойств									
		Физических							Механических		
		W, %	ρ , г/см ³	$\rho_{ск}$, г/см ³	W _T , %	W _P , %	I _P	I _L , д.е.	φ , град	c, МПа	E ₀ , МПа
m IV	супеси заторфованные	32,0	1,93	1,46	-	-	-	1,0	-	-	-
	супеси пылеватые с органическими остатками	24,0	1,94	1,56	-	-	-	0,7	-	-	-
	пески мелкозернистые с органическими остатками	22,0	1,95	1,59	-	-	-	-	-	-	-
lgIIIb	ленточные пылеватые суглинки и глины	30,0	1,85	1,42	35,0	21,0	14,0	0,9	0	0,022	0,36
gIIIz	моренные суглинки и супеси с включениями гравия и гальки	18,0	2,10	1,8	19,	13,0	6,0	0,83	4	0,04	1,1
V ₂ kt ₂	глины верхнекотлинские дислоцированные	20,0	2,09	1,74	43,0	25,0	18,0	- 0,28	10	0,2	15,5

Примечание: W – влажность, ρ – плотность, $\rho_{ск}$ – плотность скелета, W_T – влажность на пределе текучести, W_P – влажность на пределе пластичности, I_P – число пластичности, I_L – показатель

Наличие болотных отложений, насыпных грунтов в разрезе основания и специфика загрязнения подземной среды привела к активному развитию микроорганизмов в несущих конструкциях Юсуповского дворца, о чем свидетельствуют исследования микробиологической пораженности отобранных образцов кирпича и связующего раствора из фундаментов Мавританской гостиной.

В результате микологического анализа образцов поврежденного кирпича и раствора из шурфов под помещениями Юсуповского дворца выявлено 14 видов микромицетов, известных как деструкторы различных материалов. Доминировали виды родов *Penicillium* и *Mucor* – по 3 вида. (таблица 4.10). При анализе всего видового списка отчетливо заметно преобладание биодеструкторов, часть из которых считается опасными для любых строительных материалов, причем более трети из них известны как особо агрессивные деструкторы (рисунок 4.18). Следует обратить внимание на то, что большинство выявленных видов считаются условными (потенциальными) патогенами человека.

Таблица 4.10 – Результаты микологического анализа проб поврежденных материалов (кирпич и раствор) на территории Юсуповского дворца

№ пробы	Местоположение точки отбора	Описание пробы	Список грибов	Численность (КОЕ на 1 грамм субстрата)
Шурф № 1	Под Мавританской гостиной	Кирпич с признаками деструкции	<i>Aspergillus versicolor</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium canescens</i> <i>Penicillium jensenii</i>	1800±130
Шурф № 1	Под Мавританской гостиной	Раствор из кирпичной кладки с признаками деструкции (щелочная среда)	<i>Aureobasidium pullulans</i> <i>Botryotrichum piluliferum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Mucor hiemalis</i> <i>Mucor ramosissimus</i> <i>Penicillium canescens</i> <i>Penicillium jensenii</i> <i>Trichoderma viride</i>	1100±95 Снижение численности

Продолжение таблицы 4.10				
Шурф № 2	Под приемной директора	Кирпич с признаками деструкции	<i>Aspergillus versicolor</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium canescens</i> <i>Penicillium jensenii</i> <i>Scytalidium lignicola</i> <i>Trichoderma viride</i>	2000±150
Шурф № 1	Под приемной директора	Раствор из кирпичной кладки с признаками деструкции (щелочная среда)	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Mucor hiemalis</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Penicillium canescens</i> <i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Trichoderma viride</i>	2200±160

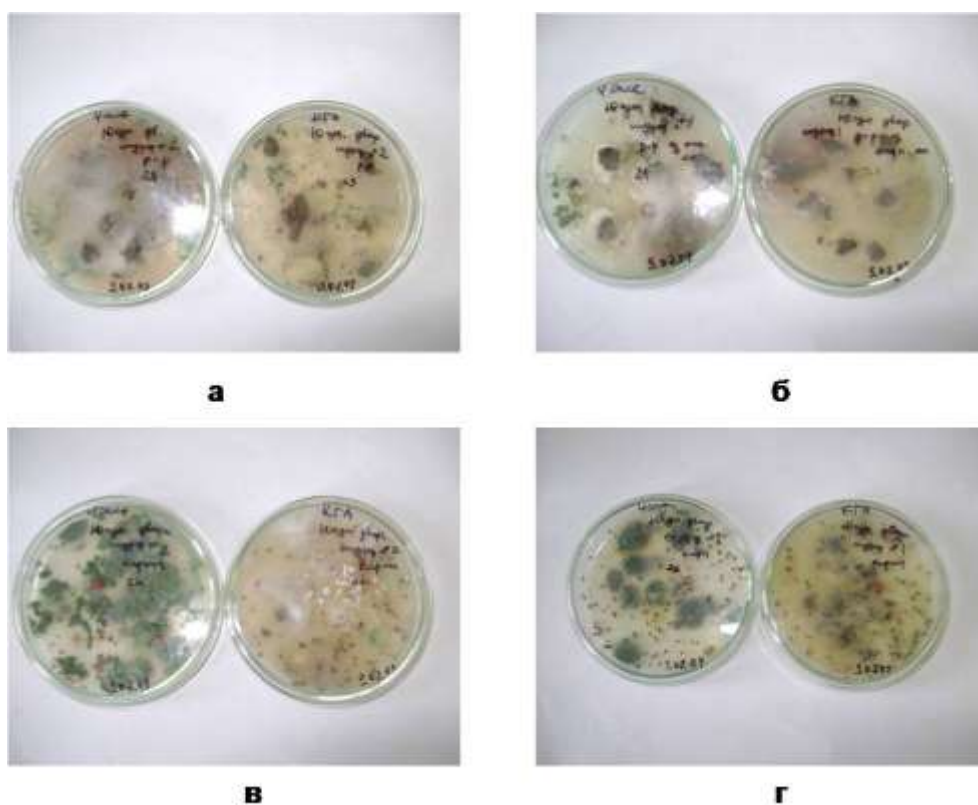


Рисунок 4.18 – Рост микромицетов на искусственных питательных средах. Массовое развитие колоний плесневых грибов зафиксировано во всех пробах: а – шурф 2, проба раствора; б – шурф 1, проба раствора; в – шурф 2, проба кирпича, массовое развитие агрессивного биодеструктора *Trichoderma viride* (колонии зеленого цвета); г – шурф 1, проба кирпича

Результаты бактериологического анализа образцов разрушающегося кирпича и раствора показали, что в пробах представлены микроорганизмы различных трофических групп при высокой высокой численности - свыше 4×10^6

КОЕ/г, что свидетельствовало о длительности процесса биодеструкции и обогащении кирпича органическими субстратами для роста гетеротрофных микроорганизмов. В образце установлено высокое содержание бактерий-сапрофитов, в первую очередь актиномицетов более (10^6 КОЕ/г). Численность тионовых бактерий – высокая ($4,6 \times 10^4$ КОЕ/г).

Полученные данные свидетельствуют о высокой насыщенности микробного сообщества и существовании благоприятной среды для накопления микроорганизмов в зонах деструкции. В пробах обильно представлены микромицеты и бактерии, что указывает на возможность формирования сложных по составу и структуре агрессивных литобионтных сообществ.

В настоящее время в наземных несущих конструкциях дворца отмечаются вертикальные и наклонные сквозные трещины, в частности, на наружной стене дворцового фасада северо-восточного крыла здания прослеживаются вертикальные трещины по краям оконных проемов с наибольшей шириной раскрытия до 8,0 мм на втором этаже (бельэтаж). Трещины имеют сквозной характер и фиксируются на стенах и потолках Античного зала, Малой Ротонды, Римского зала, Мавританской гостиной, на плафоне театра и особенно в фойе (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Формирование трещин в несущих конструкциях Юсуповского дворца: а) Античный зал, б) Мавританская гостиная

Характер этих трещин на наружных стенах и потолках помещений северо-восточного крыла свидетельствует о неравномерных осадках фундаментов и деформациях деревянных конструкций в виде прогиба балок и разрушений в

узлах сопряжений подвесных элементов потолков. В подземных несущих конструкциях фиксируется выщелачивание кладочного раствора, отмечается наличие локальных участков с ослаблением прочности материала кладки и грунтов в основании. Оценка технического состояния Мавританской гостиной была проведена проф. кафедры маркшейдерского дела Гусевым В.Н. с помощью лазерно-сканирующей съёмки (рисунок 4.20).

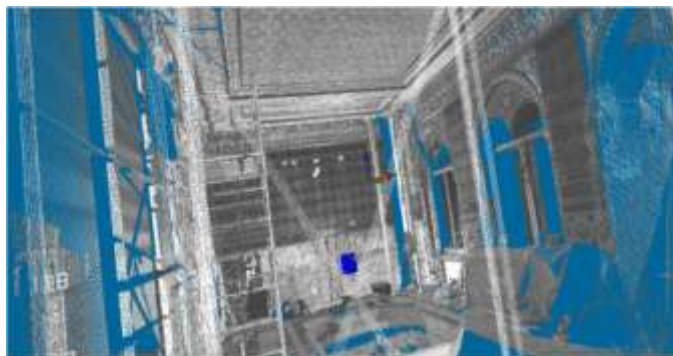


Рисунок 4.20 – Один из сканов Мавританской гостиной

Наиболее нарушенной оказалась Мавританская гостиная, причём все нарушения в виде трещин оказались в пристроенной части гостиной. На рисунке 4.21 показано местоположение двух трещин протяжённостью от пола до потолка, на противоположной стенке от пола до потолка тоже сформировалась трещина. В этой части гостиной идёт ремонт, и она отделена от другой части портьерой. Поэтому пришлось делать два отдельных скана – с одной и с другой стороны портьеры (см. рисунок 4.21).

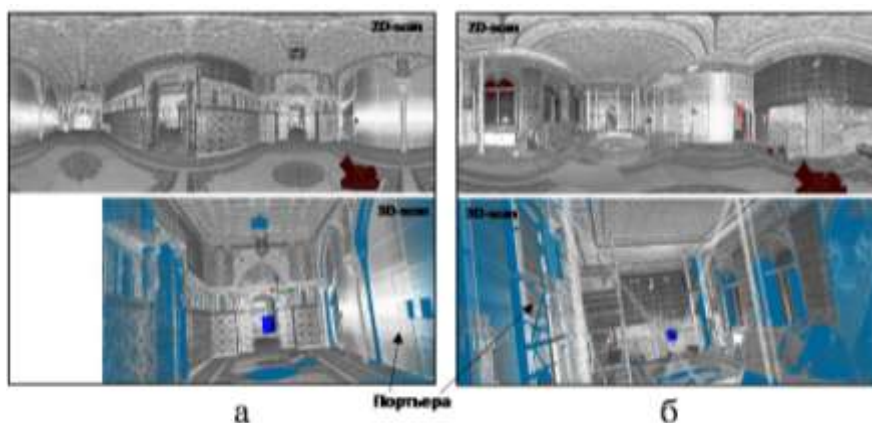


Рисунок 4.21 – Результаты сканирования с двух сторон портьеры Мавританской гостиной:

а – скан (2D,3D) 1-ой части гостиной; **б** – скан (2D,3D) 2-ой части гостиной (пристроенной и наиболее нарушенной)

В управляющей лазерным сканером программе *Laser Control* была произведена «сшивка» этих сканов, то есть их объединение в одну систему координат. В данном случае 2-ой скан был зарегистрирован в системе координат 1-го скана. На рисунке 4.22 показаны результаты этой регистрации.

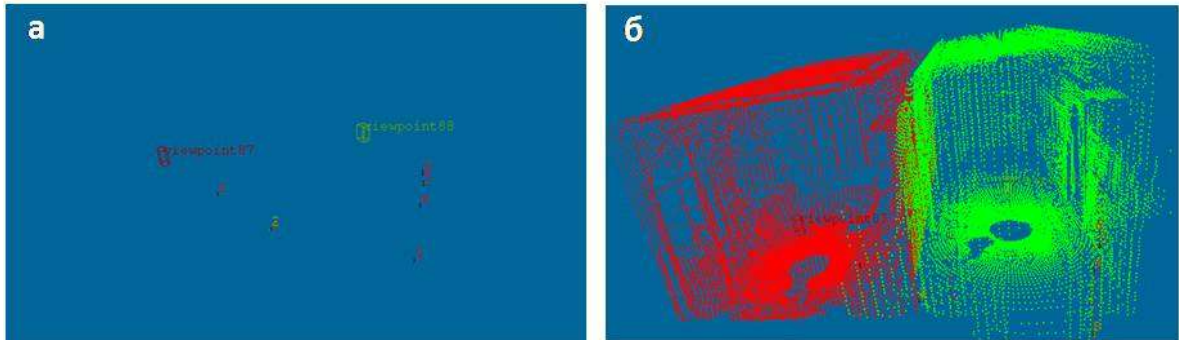


Рисунок 4.22 – Результаты регистрации двух сканов в единой системе координат: а – совмещение общих для двух сканов марок внешнего ориентирования и положение скан-позиций в единой системе координат; б – точки лазерных отражений двух сканов, пересчитанные в единую систему координат по данным совмещения марок внешнего ориентирования

Путём экспорта точек лазерных отражений двух сканов 1-ой и 2-ой частей гостиной в *AutoCAD* получим 3D-точечную модель Мавританской гостиной (рисунок 4.23). С этой моделью средствами *AutoCAD* возможно проводить геометрический анализ.

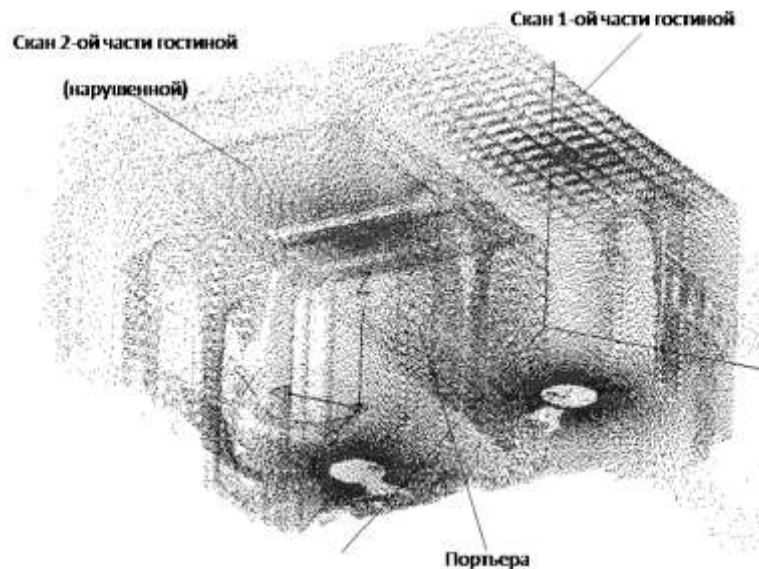


Рисунок 4.23 – 3D-точечная модель Мавританской гостиной в среде *AutoCAD*

4.3 Разработка схематической типизации подземного пространства города на основе специфики его хозяйственного освоения и использования во времени

В настоящее время вопросы хозяйственного освоения территории в историческом аспекте и особенностей инженерной подготовки в пределах городских инфраструктур, возраст которых превышает 200-300 лет, не рассматриваются. Исследования археологов, прежде всего, направлены на изучение развития цивилизаций и культур, изучение материальных ценностей и т.д.

Однако в диссертационной работе рассмотрена роль исторического аспекта освоения территории, и ее хозяйственного использования для установления причин и направленности контаминации подземного пространства. 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. Вместе с тем, длительная контаминация подземного пространства, как показывает опыт многолетних исследований, выполненных для целей строительства наземных зданий, подземных транспортных сооружений (метрополитена), обследования архитектурно-исторических памятников дают возможность убедиться в том, что поллютанты различного генезиса оказывают необратимое воздействие на песчано-глинистые грунты, подземные воды, активизацию деятельности подземной микробиоты, биохимическое газообразование, развитие коррозионных процессов и прочее.

Научно-практической основой разработанной схематической типизации интенсивности природно-техногенных воздействий на различные компоненты подземного пространства мегаполиса служит степень и длительность освоенности 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 4.24, таблица 4.11, см. таблицу 1.14).

Таблица 4.11 – Классификация уровня интенсивности техногенных воздействий на различные компоненты подземного пространства

Компоненты ПП	Зоны по длительности контаминации ПП		
	I	II	III
Горные породы (грунты)	Негативное преобразование песчано-глинистых грунтов. Разрушение цементационных связей за счет гидрооксидов железа и карбонатов при формировании анаэробных условий. Кольматация песков взвешенными частицами, их переход в пльвуны, глинистых грунтов в квазипластичное состояние. Существенное снижение несущей способности песчано-глинистых грунтов.		Снижение угла внутреннего трения в песчано-глинистых грунтах, переход тонкодисперсных отложений в квазипластичное состояние, а водонасыщенных песков в состояние пльвунов наблюдается только на участках развития погребенных или снятых болотных отложений.
Подземные воды	Повсеместное загрязнение грунтовых вод. Контаминация нижележащих горизонтов в зависимости от гидродинамической ситуации: соотношения напоров.		
	Повышение значений:		
	- ХПК до тысяч $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	- ХПК до сотен $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	Анаэробные условия существуют в зонах присутствия болотных отложений, что предопределяет трансформацию кислотно-щелочных условий $\text{pH} < 4,0-5,0$. Вне зоны развития болот отмечаются переходные условия и характерно варьирование pH в широком диапазоне.
	- перманганатной окисляемости до сотен $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$.	- перманганатной окисляемости до десятков $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$.	
	Высокие значения биологического потребления кислорода (БПК ₅). Присутствие агрессивной углекислоты, повышенные содержания хлоридов, наличие восстановленных форм серы в виде сероводорода.		
	Преобразование кислотно-щелочных условий: понижение pH ($< 4,0$).		
Формирование анаэробных условий: ($\text{Eh} < -100 \text{ mV}$)		($\text{Eh} < +50$ до -100 mV)	
Микробиота	Поступление различных форм микроорганизмов в подземные воды и грунты. Активизация деятельности аборигенной и привнесенной микрофлоры за счет дополнительных питательных и энергетических субстратов. Формирование высокой микробной пораженности грунтов. Накопление микробиоты и продуктов их метаболизма в порах и трещинах грунтов. Содержание ММ $> 300 \text{ мкг/г}$.		В зонах действия болот происходит развитие различных физиологических групп микроорганизмов. На таких участках содержание ММ может достигать до $300-500 \text{ мкг/г}$.

Продолжение таблицы 4.11		
Газы	<p>Полный цикл биохимического разложения природного и техногенного органического вещества в подземной среде происходит при наличии богатой питательной среды. При биохимическом газообразовании снижается величина микробного белка, который выступает в качестве дополнительного источника питания микроорганизмов.</p>	
	<p>Образование газов: малорастворимых (CH_4; N_2; H_2) и хорошо растворимых (NH_3; H_2S; CO_2). Растворимые газы (H_2S и CO_2) значительно повышают агрессивность подземной среды по отношению к конструкционным материалам – прежде всего к бетонам и строительным растворам на цементах и извести. Подкисление водной компоненты за счет H_2S, отрицательно воздействует на черные металлы, а присутствие водорода приводит к повышению их хрупкости.</p>	<p>В зонах развития болот наблюдается образование метана как основного продукта жизнедеятельности богатой микрофлоры. Помимо метана в болотах идет процесс образования молекулярного азота за счет деятельности денитрифицирующих бактерий.</p>
	<p>Накопление в подземной среде малорастворимых газов способствует изменению напряженно-деформированного состояния грунтовой толщи, за счет обогащения водонасыщенных грунтов «твердыми» пузырьками газов, диаметр которых меньше диаметра пор грунта.</p>	
Конструкции	<p>Использование строительных или конструкционных материалов должно соответствовать окислительно-восстановительным, кислотно-щелочным и биохимическим условиям, химическому и газовому составу подземных вод. Твердение бетонов согласно ГОСТ 23732-2011 должно удовлетворять следующим условиям:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Перманганатная окисляемость не $>15 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ 2. Интенсивность запаха: от 1 до 5 баллов 3. Кислотно-щелочные условия: $12,5 > \text{pH} > 4$ 4. Отсутствие нефтепродуктов 	
	<p>Отсутствие или замедленное твердение бетонов.</p>	<p>Отсутствие твердения бетонов в отдельных зонах, где присутствуют болотные отложения, хозяйственно-бытовые свалки, утечки из систем водоотведения.</p>
	<p>Высокий уровень коррозионной способности подземных вод, грунтов, микробиоты и газов по отношению к любым конструкционным материалам. Значительное содержания органических и неорганических кислот снижает величину pH до 5 – 4, редко ниже, что негативно воздействует на материалы подземных несущих конструкций, которые использовались в XVIII – XIX вв. – известнякам (природный камень), растворам кирпичной кладки, металлам, бетонам, часто применяемым при реставрационных работах старинных зданий. Активное развитие, рост скорости биокоррозии и электрохимической коррозии. Широкое развитие физико-химической и химической коррозии. Воздействие водорода H_2 на повышение хрупкости стальных конструкций.</p>	<p>Разрушение материалов подземных конструкций при растворении и выщелачивании бута известняка и растворов кирпичной кладки фундаментов старинных зданий приводит к высокому содержанию щелочноземельных элементов (Ca^{2+} и Mg^{2+}), которые способствуют буферности раствора и некоторому повышению pH.</p>

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. Третий тип площадок (III) выделяется в связи с использованием - 100-200 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 выделено 3 подтипа: Ia, IIa, IIIa - предельно высокая степень контаминации (более 5 источников контаминации); Ib, IIb, IIIb - высокая степень контаминации (2-5 источников контаминации); Ic, IIc, IIIc - средняя степень контаминации (1-2 источника контаминации).

Ранжирование источников контаминации производилось по степени 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

Для выделенных зон характерны определенные инженерно-геологические и гидрогеологические особенности подземной среды, формирование которых обусловлено:

- 1) степенью контаминации грунтов и их техногенной трансформации под действием длительного техногенного загрязнения органическими соединениями и микробиотой,
- 2) преобразованием компонентного состава подземных вод;
- 3) развитием природных и природно-техногенных процессов, в том числе наличие песков-плывунов, тиксотропных отложений, биохимического газообразования и

его влияния на НДС грунтовой толщи при развитии газодинамического давления; 4) исследованиями химической коррозии, в том числе газовой коррозии, и биокоррозии различных строительных материалов; 5) возможностью твердения бетонов при проведении строительных работ.

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 и характеризуются низкими значениями рН.

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.

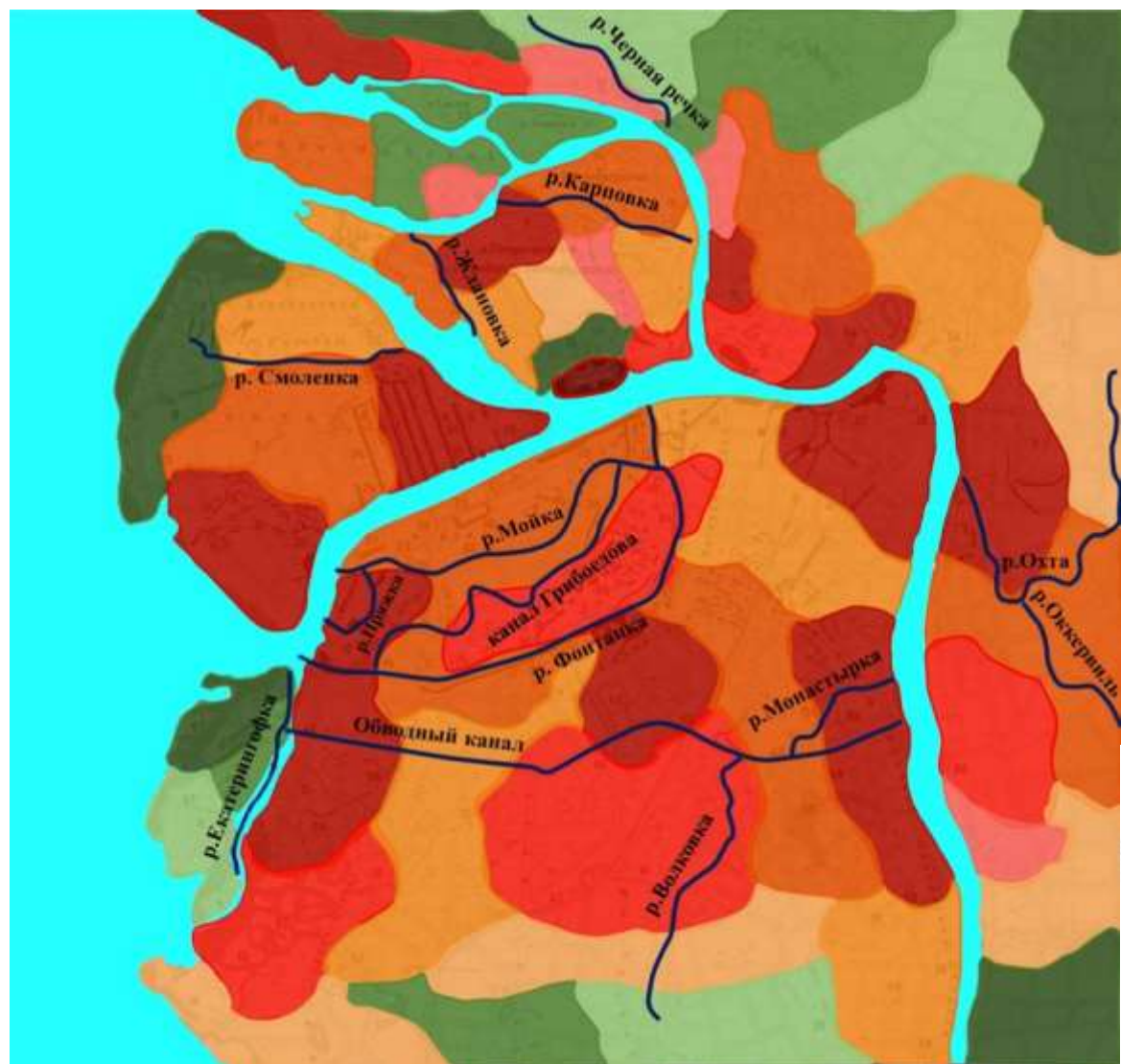


Рисунок 4.24 – Схематическая типизация подземного пространства города на основе специфики его хозяйственного освоения и использования во времени. Масштаб – 1:100000

4.4 Выводы по главе 4

1. Проанализирована специфика формирования техногенных отложений в процессе развития городской инфраструктуры, мощность, состав и свойства которых зависели от цели и характера инженерной и хозяйственной деятельности человека на застраиваемой территории, наличия болотных отложений, уровня грунтовых вод и пр. Согласно исследованиям М.И. Хазанова, описывающим особенности образования и развития техногенных отложений на территории России, регион Санкт-Петербурга относится к территориям с очень высокой интенсивностью формирования техногенных отложений, что связано с его положением как дельтового мегаполиса, длительной историей освоения рассматриваемых земель, инженерной подготовки заболоченной территории, которая характеризуется низкими абсолютными отметками.

2. Приведена разработанная систематизация техногенных отложений для территории Санкт-Петербурга, в которой выделено две группы по способу их образования: насыпные и намывные. Насыпные грунты формировались до 18 века и в период функционирования города до середины 20 века. Позднее обширные площади техногенных отложений были образованы намывом.

3. Обоснована необходимость построения специализированных карт, на которых показаны особенности инженерной подготовки территории в пределах береговых зон речной системы, засыпанных водотоков, водоемов, а также искусственных каналов, представляющих особую опасность при освоении и использовании подземного пространства города. Такие зоны характеризуются интенсивным биохимическим газообразованием, высокой микробной пораженностью, а также наличием слабых водонасыщенных неустойчивых грунтов, обладающих плавунными и /или тиксотропными свойствами.

4. Разработана схематическая карта типизации для города Санкт-Петербурга, принимая во внимание длительность использования территории и исторический аспект загрязнения подземного пространства с учетом природных и техногенных источников контаминации. На синтетической схематической карте

выделено три зоны по длительности освоения: I – свыше 500 лет, II – 300-400 лет, III – 100-200 лет. В пределах участков каждого типа выделено 3 подтипа: Ia, IIa, IIIa – предельно высокая степень контаминации (более 5 источников контаминации); Ib, IIb, IIIb – высокая степень контаминации (2-5 источников контаминации); Ic, IIc, IIIc – средняя степень контаминации (1-2 источника контаминации). При этом, необходимо принимать во внимание степень интенсивности поллютантов на компоненты подземной среды. Наиболее высокий уровень негативного воздействия установлен при контаминации среды органическими соединениями биогенного генезиса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решается актуальная научно-прикладная задача инженерно-геологического анализа исторического аспекта освоения и контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга:

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. Длительность негативных воздействий на все компоненты подземного пространства для оценки инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства, эксплуатации, реконструкции и реставрации сооружений имеет принципиальное значение. На экологическое состояние подземного пространства города, кроме загрязнения, оказывает влияние присутствие в разрезе болотных отложений как основного источника природной органики и микробиоты. Основное значение в ряду активных загрязнителей подземного пространства на протяжении всей жизни города играют утечки из старых систем водоотведения, малой и средней глубины заложения, что определяет загрязнение грунтовых вод и песчано-глинистых отложений микробиотой, органическими и неорганическими компонентами, а также тепловые аномалии подземных вод. Многочисленные свалки хозяйственно-бытовых и промышленных отходов различного состава представляют собой источник токсичных и газообразных продуктов, органических и неорганических соединений, которые поступают в подземную среду с фильтратом, образующимся при взаимодействии отходов с инфильтратом. Состав поллютантов, поступающих с жидкой фазой свалок близок к составу стоков системы водоотведения, однако их концентрация на порядок выше, чем в канализационных стоках.

Активным поллютантом подземных вод и пород на территории города служат нефтяные углеводороды (НУ). Результаты гидрохимического исследования грунтовых вод на территории города в разные годы, показывают повышенные значения нефтепродуктов, содержание которых варьирует в

зависимости от длительности загрязнения, возможного химического и биохимического преобразования нефтепродуктов, близости к источнику загрязнения. На территории города зафиксированы локальные зоны, где содержание нефтепродуктов в грунтовых водах может превышать 50 мг/дм^3 . Обычно такие зоны фиксируются как хранилища углеводов.

2. При химическом и биохимическом окислении органической компоненты канализационных стоков, многочисленных свалок, нефтепродуктов, кладбищ наблюдается изменение физико-химических условий в толще пород, в первую очередь, снижение окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Анаэробные микроорганизмы также способствуют снижению окислительно-восстановительного потенциала, особенно при генерации H_2S . 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. 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 $5 \cdot 10^{-4} \%$.

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, а также наблюдениями за осадками зданий на свайном фундаменте, несущим горизонтом которых служат морены в восстановительных условиях. Подчеркивается, что моренные отложения как надежный горизонт для свайных фундаментов согласно действующим ТСН 50-302-2004 не может рассматриваться, за исключением морен, залегающих в окислительных условиях.

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. Отмечено, что высокий уровень микробной пораженности, восстановительные условия среды за счет длительной контаминации рассматриваются как причины прогрессирующего разрушения фундаментов рассматриваемых объектов и других несущих конструкций, эксплуатируемых в течение длительного времени в сложных, постоянно ухудшающихся условиях подземной среды.

6. Особое внимание уделено роли грунтовых вод как компоненты подземного пространства, отражающей влияние различных источников контаминации и формирующей степень агрессивности вод по отношению к конструкционным материалам. Проведена оценка активности микробной деятельности в зоне основания сооружений, которая предопределяет развитие биокоррозии деревянных и металлических конструкций, а также кирпичной кладки. Отмечена негативная трансформация песчано-глинистых грунтов в разрезе основания рассматриваемых объектов. Проведен анализ длительной устойчивости с учетом снижения несущей способности грунтов, а также агрессивности подземной среды по отношению к материалам кладки фундаментов.

7. 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. Анализ этих условий показал, что устройство свайного фундамента (первый вариант) не приведет к желаемому эффекту, поскольку при высоком содержании органических соединений по величине перманганатной окисляемости ($>15 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$) и при низких значениях pH не происходит твердения бетонов, а морена – несущий слой находится в квазипластичном состоянии. Предложен второй вариант - восстановление первоначального проекта фундамента, но при использовании устойчивых материалов для распределяющих конструкций (плиты и лежней), предупреждающих разрушение фундаментов в агрессивной подземной среде за счет деятельности микроорганизмов, физико-химических и химических процессов. Представленные результаты исследований для здания Нового Эрмитажа свидетельствуют о необходимости комплексного обследования состояния подземных и наземных конструкций и организации мониторинга, который в дальнейшем позволит обосновать применения материалов, устойчивость которых может быть гарантирована в существующей реальной обстановке, а также подготовить проект его реконструкции и реставрации. 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.

8. 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. Представленный

комплекс схематических карт позволяет более детально рассмотреть преобразование не только погребенных болотных отложений и песчано-глинистых грунтов с органическими остатками, которые преобладают на территории города в верхней части разреза с максимальными абсолютными отметками поверхности до 9,5-10,0 м, но также и участков гидрографической сети, занимающих его значительную площадь. Кроме того, указано местоположение набережных рек и каналов, при устройстве которых важное значение имело формирование техногенных отложений в процессе инженерной подготовки территории.

9. Инженерно-геологическая типизация подземного пространства города проведена с учетом исторического аспекта его контаминации на основе анализа значительного объема фондовых, полевых и экспериментальных исследований, что способствует повышению степени инженерно-геологической информации, а именно: достоверности прогнозирования развития природно-техногенных процессов, состояния и свойств грунтов, формирования состава подземных вод, а также безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения с учетом устойчивости строительных материалов в подземной среде при выявленной коррозионной способности водонасыщенных песчано-глинистых грунтов в условиях их длительной контаминации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветиков, А.А. Исследование территории шведского города Ниена / А.А. Аветиков, С.Л. Соловьев // Бюллетень Института истории материальной культуры РАН (охранная археология). – СПб, 2011. – № 2 – С. 35-46.
2. Авсеенко, В.Г. История города Санкт-Петербурга: В лицах и картинках, 1703–1903 // Исторический очерк. – СПб, 1993. – 238 с.
3. Агеева, Р.А. Гидронимия Русского Северо-Запада как источник культурно-исторической информации. – М., 1989. – 256 с.
4. Алексеев, С.И. К вопросу о деформациях фигур атлантов портика Нового Эрмитажа// Реконструкция городов и геотехническое строительство, №2. – СПб, 2000. – С. 32-38.
5. Амбросиани, П. Топонимика Новгородской земли в Новгородском оккупационном архиве г. Стокгольма: Дудоровский погост // Swedish Contributions to the Thirteenth International Congress of Slavists, Ljubljana, 15-21 August. – Lund, 2003. – P. 7-20.
6. Амбросиани, П. Параллельные названия в прибалтийско-финской и русской ойконимии Ингерманландии // Вопросы ономастики. – 2008. – №6. – С. 83-92.
7. Амбросиани, П. Историческая топонимика Новгородской земли: названия погостов Водской пятины // Swedish Contributions to the Fourteenth International Congress of Slavists (Ohrid, 10-16 September 2008). – Umeå, 2009. P. 9–18.
8. Атлас Ингерманландии. РОБАН. Собр. рук. карт. Оп. доп. 1. Д. 27. Атлас Ингерманландии 1701 г.
9. Багров, О.Т. История русской картографии. М., 2005. – 522 с.
10. Базарова, В.И. Новые исследования рыболовных заграждений на памятнике Охта-1: предварительные результаты / В.И. Базарова, А.А. Бобкова, Ст.А. Васильев, Л.С. Воротинская, А.Ю. Городилов, А.А. Екимова, О.М. Илюхина, А.А. Ластовский, А.И. Мурашкин, М.Ю. Никитин,

Н.Ф. Соловьёва, А.В. Суворов, К.С. Хребтикова, Т.А. Шаровская // Бюллетень ИИИМК РАН. – СПб, 2010. – Вып. 1. – С. 165-174.

11. Барсов, Н.П. Очерки русской исторической географии. География начальной летописи. – Варшава, 1873. – 275 с.

12. Беляев, В. О кладбищах в С.-Петербурге / Сост. чл. Комис., учрежд. для приведения в исполнение высоч. повеления по устройству столич. кладбищ, В. Беляевым. – СПб., 1872. – 110 с.

13. Беляев, И.Д. О географических сведениях в древней Руси // Записки Русского Географического Общества. – СПб., 1852. – Кн. 6. – 264 с.

14. Беспярых, Ю.Н. Наводнения в Петербурге Петра I. – СПб., 2013. – 408 с.

15. Беспярых, Ю.Н. Ижорская земля в XVII веке / Ю.Н. Беспярых, И.П. Шаскольский // Аграрная история северо-запада России XVII века: население, землевладение, землепользование. – Л., 1989. – С. 185-211.

16. Богданов, А.И. Историческое, географическое и топографическое описание Санкт-Петербурга от начала заведения его в 1703. – СПб, 1779.

17. Богданов, А.И. Описание Санкт-Петербурга. СПб., 1997. – 414 с.

18. Богоявленская, О.В. Геология СССР / О.В. Богоявленская, В.Н. Пучков, М.В. Федоров. – М.: Недра, 1991. – 240 с.

19. Божерянов, И.Н. С.-Петербург в Петрово время // Иллюстрированный исторический очерк. – СПб., Вып. 1-3. – С. 1901-1903.

20. Божерянов, И.Н. Невский проспект (1703-1903) // Культурно-исторический очерк двухвековой жизни С.-Петербурга. – СПб., 1901-1903. – т. 1-2.

21. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. – Д.: Гидрометеиздат, 1976. – 448 с.

22. Борисовская, Н.А. Старинные гравированные карты и планы XV-XVIII веков. – М., 1992. – 269 с.

23. Будин, А.Я. Тонкие подпорные стенки. – Л.: Стройиздат (Ленингр. отделение), 1974. – 192 с.

24. Бунин, М.С. Архитектурный ансамбль стрелки Васильевского острова и Университетской набережной. – Л., 1973. – 64 с.
25. Бунин, М.С. Стрелка Васильевского острова. – М-Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – 371 с.
26. Быковский, Н.М. Картография: Исторический очерк. – Петроград, 1923. – 208 с.
27. Большая российская энциклопедия, т. 11. – 184 с.
28. Васильев, Б.Л. Архитектор Т. Томон: здание Центрального Военно-Морского Музея (б. Биржа) в Ленинграде. – СПб.: Гостройиздат, 1957. – 70 с.
29. Владимиров, В.В. Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий / В.В. Владимиров, Г.Н. Давидянц, О.С. Расторгуев, В.Л. Шафран. – М.: Архитектура, 2004. – 240 с.
30. Владимирова, В.Г. Ферменты и нуклеиновые кислоты: Учеб. Пособие / Под ред. В.Г. Владимирова, С.Н. Лызловой. – СПб.: Изд. С.-Петербург. ун-та, 1997. – 152 с.
31. Возгрин, В.Е. Шведская карта низовьев Невы 1640-х годов / В.Е. Возгрин, И.П. Шаскольский // ВИД. – Л., 1981. – № 12. – 273 с.
32. Волков, С. История культуры Петербурга с основания до наших дней. – М., 2001. – С. 32-34.
33. Востоков, А.Х. Задача любителям этимологии // Санкт-Петербургский вестник. – СПб., 1812. – №2. – С. 204-215.
34. Временник общества и древностей Российских. Кн. 11. Переписная Окладная книга по Новгороду Вотьской пятины 7008 г. М., 1851. – С. 370-390.
35. Выскочков, Л.В. Об этническом составе сельского населения северо-запада России. (вторая половина XVIII-XIX в.) // Из книги «Петербург и губерния». – Изд. «Наука», 1989. – С. 113-131.
36. Вязкова, О.Е. Теория, методология и практика инженерно-геологических исследований природно-археологических систем: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.г.-м.н.: спец. 25.00.08. – Москва: Российский государственный

геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), 2016. – 46 с.

37. Гиппинг, А.И. Введение в историю Санкт-Петербурга, или Нева и Ниеншанц. Перевод и вступительная статья акад. А.С. Лаппо-Данилевского. (1909, Санкт-Петербург). – СПб.: Российский архив, 2003. – 472 с.

38. Гиппинг, А.И. Нева и Ниеншанц. – СПб., 1916 – Т.2. – 174 с.

39. Гиппинг, А.И. Карты и планы Невы и Ниеншанца / А.И. Гиппинг, А.А. Куник. – СПб., 1913.

40. Горбатенко, С.Б. Карты Ингерманландии и Карелии XVII века в Швеции и России // Краеведческие записки. – СПб., 1997. – Вып. 5. – 14 с.

41. Горбатенко, С.Б. Швеция и Санкт-Петербург // Первый научный семинар. Тексты докладов. – СПб., 1995. – С. 29-32.

42. Горбатенко, С.Б. Исторические ландшафты допетровской Ингерманландии // Из истории Санкт-Петербургской губернии: Сборник научных трудов. – СПб., 1997. – С. 109-116.

43. Горбатенко, С.Б. Шведские карты Ингерманландии 17 века как источник для изучения эпохи петровских преобразований // Петербургские чтения. Научная конференция. Тезисы докладов. – СПб., 1993. – С. 64-68.

44. Горбачевич, К.С. Почему так названы? / К.С. Горбачевич, Е.П. Хабло. – Лениздат, 1985. – 511 с.

45. Город под морем, или Блистательный Санкт-Петербург: Воспоминания. Рассказы. Очерки. Стихи / Сост. С.А. Прохватилова. – СПб., 1996. – 445 с.

46. ГОСТ 23732–2011 Вода для бетонов и строительных растворов
Технические условия.

47. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». Межгосударственный стандарт.

48. Грабарь, И.Э. Петербургская архитектура в XVIII и XIX веках. – СПб., 1994. – 384 с.

49. Громов, Б.В. Экология бактерий: Учебное пособие / Б.В. Громов, Г.В. Павленко. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1989. – 248 с.

50. Грот, Я.К. Петербургский край до Петра Великого. – СПб., 1901. – 769 с.
51. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров: под ред. В.Т. Трофимова. – 6 –е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
52. Гусарова, Е.В. «В память сего ижерского места...» // Ленинградская панорама. – Л., 1988. – №10. – 36 с.
53. Гусенцова, Т.М., П.Е. Сорокин. Охта 1 – первый памятник эпох неолита и раннего металла в центральной части Петербурга // Российский археологический ежегодник / Ред. Л.Б. Вишняцкий. СПб.: Издательство Санкт-Петербург. гос. ун-та, 2011. – №1. – С. 421-451.
54. Даринский, А.В. География Ленинграда. – Л., 1982. – 190 с.
55. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологический анализ и оценка водонасыщенных глинистых пород как основания сооружений: Институт «ПИ Геореконструкция». – СПб., 2015. – 371 с.
56. Дашко, Р.Э. Механика горных пород. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
57. Дашко, Р.Э. Влияние контаминации грунтовых вод нефтепродуктами на изменении прочности глинистых пород / Р.Э. Дашко, Л.П. Норова // Материалы семинаров, посв. 65-летию кафедры инженерной геологии. – СПб., 1996. – С. 17–26.
58. Дашко, Р.Э. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – №13. – С. 24-71.
59. Дашко, Р.Э., Д.Ю. Власов, А.В. Шидловская. Геотехника и подземная микробиота: Институт «ПИ Геореконструкция». – СПб, 2014. – 280 с.
60. Дашко, Р.Э. Многофакторная оценка причин прогрессирующего разрушения комплекса зданий Нового Эрмитажа / Р.Э. Дашко, В.А. Горская // Промышленное и гражданское строительство. – Москва, 2015. – №11. – С. 8-14.
61. 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. – Москва, 2016. – №4. – С. 30-36.

62. 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. – Екатеринбург, 2016. №12 (54). – С. 56-61.

63. 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.

64. 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.

65. 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.

66. 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. – М., 2015. №6 (15). – С. 131-136.

67. 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. – Тамбов, 2015. №9 (11). – С. 1100-1103.

68. 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.

69. Дашко, Р.Э. Биотическая и абиотическая компоненты в подземной среде: их генезис и влияние на состояние и свойства песчаных отложений / Р.Э. Дашко, А.В. Шидловская // Записки Горного института. – СПб., 2012. – Т.197. – С. 209-214.

70. Денисенков, В.П. Основы болотоведения. СПб.: Изд-во С.-Петербур. Унта, 2000. – 224 с.

71. Драгендорф Исследование воды Санкт-Петербургский каналов // Архивы судебной медицины. – СПб., 1865, №1. – С. 48-72.

72. Закутин, В.П. Окислительно-восстановительное состояние хозяйственно-питьевых подземных вод / В.П. Закутин, В.А. Щека // Отечественная геология. – М.: Недра, 1992. – №9. – С.66–72.

73. Закутин, В.П., Щека В.А. Окислительно-восстановительные состояния подземных вод. – М.: ВИЭМС, 1985. – 53 с.

74. Звягинцев, Д.Г. Почва и микроорганизмы. – Изд. Московского университета, 1987. – 256 с.

75. Ижорская земля // Новая российская энциклопедия. – М.: Энциклопедия, 2010. – Т. 6(2). – С. 312.

76. Ильин, Л.А. Прошлое планировки Васильевского острова. «Вопросы коммунального хозяйства». – 1927. –№1. – С. 21-34.

77. Ингерманландия // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). – СПб., 1890–1907.

78. Исаченко, Б.Л. Избранные труды. Изд-во Академии наук СССР. – М.–Л., тт. 1–2. – 1951.

79. Исторические кладбища Петербурга. Справочник-путеводитель. А.В. Кобак, Ю.М. Пирютко. – СПб., 1993. – 65 с.

80. Каган, М.С. Град Петров в истории русской культуры. – СПб.: Славия, 1996. – 407 с.

81. Каганов, Г.З. Петербург в контексте барокко. – СПб.: Стелла, 2001. – 207 с.
82. Каплан, Л.З. Инженерная подготовка территории строительства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 160 с.
83. Карху, Э.Г. Ингерманландия и ингерманландцы: Опыт краткого историко-культурного описания // «Север». – 1990. – № 8. – С. 145–156.
84. Карюхина, Т.А. Контроль качества воды Учеб. для техникумов / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова. – М.: Стройиздат. – 1977. – 135 с.
85. Кафенгауз, Б.Б. Россия при Петре первом. – М., Учпедгиз., 1995. – 176 с.
86. Кепсу, С. Петербург до Петербурга: История устья Невы до основания города Петра. – СПб.: Европ.дом, 2000. – С.116-118.
87. Кирпичников, А.Н. Под натиском пращуров // Санкт-Петербургские ведомости, Выпуск № 095 от 24.05.2013.
88. Кирюхин, В.А. Гидрогеохимия / В.А. Кирюхин, А.И. Коротков, С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1993. – 384 с.
89. Кирштейн, Г. Строительное искусство. Руководство к возведению фабричных, гражданских и сельских строений. – Рига, 1899. – 290 с.
90. Клиорина, Г.И. Инженерная подготовка городских территорий: Учеб. для студ. ВУЗов во спец. «Гор.стр-во» / Г.И. Клиорина, Г.И., В.А. Осин, М.С. Шумилов: под ред. В.А. Осина. – М.: Высш. шк., 1984. – 271 с., илл.
91. Князь Александр Невский и его эпоха: Исследования и материалы / Под ред. Ю.К. Бегунова, А.Н. Кирпичникова. – СПб., 1995. – 214 с.
92. Колодезников, В. К вопросу о петербургских кладбищах / Архивы судебной медицины. – 1883. – №1, №2.
93. Конькова, О.И., В.А. Кокко. Ингерманландские финны // Очерки истории и культуры. – СПб., 2009. – 164 с., илл.
94. Конькова, О.И. Ингерманландская историко-культурная зона в свете данных гуманитарных наук // Очерки исторической географии. Северо-запад России. Славяне и финны. – СПб., 2001. – С. 188-231.

95. Котлов, Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М.: Недра, 1978. – 263 с.
96. Кочадамов, В.И., «Набережные Невы». – Л.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 180 с.
97. Крайнов, С.Р., В.М. Швец. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 458 с.
98. Крайнов, С.Р., Геохимические и экологические последствия изменения химического состава подземных вод под влиянием загрязняющих веществ / С.Р. Крайнов, Г.Ю. Фойт, В.П. Закутин // Геохимия. – 1991. – №2 – С. 169-182.
99. Кротов, П.А. Основание Санкт-Петербурга: загадки старинной рукописи. – СПб., 2006. – 160 с.
100. Кузнецов, К.К. Геологическое прошлое Ленинграда. – Л., 1955. – 36 с.
101. Кузнецов, С.И. Введение в геологическую микробиологию / С.И. Кузнецов, М.В. Иванов, Н.Н. Ляликова. – М., 1962. – 240 с.
102. Кулькова, М.А. Применение метода геохимической индикации для реконструкции функциональных зон на памятниках каменного века Приневского региона / М.А. Кулькова, Т.М. Гусенцова, Н.П. Мадянова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – СПб., 2015. – № 176. – С. 76-89.
103. Кулькова, М.А. Палеогеография и археология стоянок неолита – раннего металла в устье реки Охты (Санкт-Петербург) / М.А. Кулькова, Т.В. Сапелко, А.В. Лудикова, Д.Д. Кузнецов, Д.А. Субетто, Е.М. Нестеров, Т.М. Гусенцова, П.Е. Сорокин // Известия Русского Географического Общества. Санкт-Петербург, 2010. – Т. 142. Вып. 6. – С. 13-31.
104. Ланге, И.Ю. Инженерно-геологический анализ и оценка изменения несущей способности дисперсных грунтов при их контаминации нефтепродуктами: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: специальность 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. – Санкт-Петербургский горный университет. – СПб. – 2016 г. – 234 с.

105. Лаппо-Данилевский, А.С. Карты и планы Невы и Ниеншанца, собранные А.И. Гиппингом и А.А. Куником. – СПб., 1913.
106. Леггет, Р. Города и геология. – М.: Мир, 1976. – 559 с.
107. Ленинград. Историко-географический атлас. – М., 1981.
108. ЛИГА – Ленинград. Историко-географический атлас. – М., 1977.
109. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
110. Луппов, С.П. История строительства Петербурга в первой четверти XVIII в. – М.-Л., Изд-во АН СССР, 1957. – 190 с.
111. Лурье, Ф.М. Петербург 1703-1917. – СПб.: «Золотой век», 2001. – 268 с.
112. Лысак, Л.В. Бактериальные сообщества городских почв: автореф. дис. доктора биол. наук: 03.02.03. – М., 2010. – 46 с.
113. Люлина, Р.Д. Новый Эрмитаж // Эрмитаж. История строительства и архитектура здания. – Л., 1990. – С.401-427.
114. Маслов, Б.С. Гидрология торфяных болот. – Москва, 2009. – 266 с.
115. Михайлов, Н.В. Лахта. Пять веков истории. 1500-2000. – М.; СПб., 2001.
116. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия // Наука. – М., 1972. – 343 с.
117. Мишустин, Е.Н. Микрофлора подзолистых и дерново-подзолистых почв. / Е.Н. Мишустин, В.А. Мирзоева, М.Г. Еникеева // Микрофлора почв северной и средней части СССР. – М.: Наука, 1966. – С. 54–96.
118. Мусаев, В.И. Политическая история Ингерманландии в конце XIX-XX веке. – Кишинёв: Nestor-historia, 2001. – С. 15. – 400 с. – 500 экз.
119. Нежиховский, Р.А. Гидролого-экологические основа водного хозяйства. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 230 с.
120. Нежиховский, Р.А. Река Нева и Невская губа. – Л., 1981. – 112 с.
121. Некрасов, Г.А. Основные черты гражданского и культурного строительства в Петербурге (первая четверть 18 в.) // Промышленность и торговля

в России 17–18 вв.: Сборник статей / Под ред. А.А. Преображенского. – М., 1983. – С. 107-115.

122. Немиров, Г.А. Петербург до его основания. – СПб., 1888. – 30 с.

123. Немиров, Г.А. Петербургская биржа при Петре Великом. – СПб., 1988. – 25 с.

124. Одоевцева, И. На берегах Невы. – М., 1988. – 334 с.

125. Острой, О.С. С чего начиналась петербургиана // Петербургские чтения-97.– СПб., 1997. – Вып. 3. – С. 591-594.

126. Официальный сайт <http://kottke.org/plus/viele-map/> (карта Вьеля).

127. Очистка сточных вод (примеры расчетов): Учеб. пособие для вузов по спец. "Водоснабжение и канализация" / М.П. Лапицкая, Л.И. Зуева, Н.М. Балаескул, Л.В. Кулешова. - Мн.: Выш. школа, 1983. – 255 с.

128. Петербург до Петербурга. – СПб., 2003. – 76 с.

129. Петербург петровского времени. Очерки: под ред. А.В. Предтеченского. – Л.: Лениздат, 1948. – 160 с.

130. Перельман, А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 423 с.

131. Перельман, А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенезиса. – М.: Недра, 1972. – 288 с.

132. Петров, П.Н. История Санкт-Петербурга с основания города до введения в действие выборного городского управления по Учреждениям о губерниях, 1703–1782. – СПб., 2004. – 71 с.

133. Пинкевич, А.В. Микробиология. Биология прокариотов: Учебник в 3 т. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2006. – Том 1 – 352 с.

134. Планы, объясняющие постепенное распространение Санкт-Петербурга. – СПб., 1836.

135. Плечкова, И.Л. Инженерно-геологический анализ и оценка синих нижнекембрийских глин предглинтового района г. Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08 / Плечкова Ирина Львовна. – СПб., 1996. – 19 с.

136. Плотникова, Т.В, Сидорова Н.В. Отходы табачного производства в растениеводстве как элемент в комплексе работ по рекультивации земель / Т.В. Плотникова, Н.В. Сидорова // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции. – Краснодар, 2013. – С. 58-61.

137. Полное собрание русских летописей. – 2000. – Т. 3 – С. 91.

138. Приамурский, Г.Г. Судьба Ниеншанца / Г.Г. Приамурский, С.В. Трофимов // Летопись Охтинской Адмиралтейской верфи. Судостроение. – СПб, 1991. – №10. – С. 85-86.

139. Прибалтийско-финские народы России / Отв. ред. Е.И. Клементьев, Н.В. Шлыгина; Ин-т этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая. – Москва: Наука, 2003. – 671 с.

140. Путеводитель по Санкт-Петербургу. – СПб, 1903. – 112 с.

141. Работнова, И.Л. Роль физико-химических условий (рН и гН₂) в жизнедеятельности микроорганизмов. – М., 1957. – 169 с.

142. Радина, В.В. Явление образования истинных пльвунов. № 91 с приоритетом от 16 мая 1960 г.

143. Разумов, Г.А. Тонушие города / Г.А. Разумов, М.Ф. Хасин. – М.: Стройиздат, 1991. – 256 с. :ил.

144. Русская архитектура первой половины XVIII в. Исследования и материалы / Под ред. акад. И.Э. Грабаря. – М.: Гос. изд. лит. по строительству и архитектуре, 1954. – 416 с.

145. Санкт-Петербург. Исследование истории топографии и статистики столицы. – СПб., 1870. – т. II. – 163 с.

146. Санкт-Петербург. 300 лет истории. – СПб.: Наука, 2003. – 760 с.

147. Свято-Троицкая Александро-Невская Лавра. 1713-1913: Историческое исследование доктора церковной истории С.Г. Рункевича. В 2-х кн. СПб.: Издательство «Logos», 2001. – Кн. 2. – 592 с.

148. Селин, А.А. К исторической топографии Невского устья на рубеже 16–17 вв. // Древние культуры центральной Азии и Санкт-Петербурга. – СПб., 1998. – 272 с.
149. Семенцов, С.В. Градостроительное развитие Санкт-Петербурга в 1703–2000-е годы. Дисс.... докт. архитектуры, Санкт-Петербург. – СПб., 2007. – 723 с.
150. Семенцов, С. Система поселений шведского времени и планировка Санкт-Петербурга при Петре I // Шведы на берегах Невы. Сборник статей. Шведский институт. – Стокгольм, 1998. – С. 129-138.
151. Семенцов, С.В. Градостроительное развитие территорий Приневья до основания Санкт-Петербурга: освоение зоны дельты Невы в XVII веке // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 15. – СПб., 2015. – №2. – С. 110-125.
152. Семенцов, С.В. Градостроительное развитие территорий приневья до основания Санкт-Петербурга: водская пятина и ингерманландия // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 15. – 2015. – №1. – С. 145-163.
153. Семенцов, С.В. К вопросу об особенностях заселения территории Приневья в конце 15-начале 16 вв. // Петербургские чтения – 97: Петербург и Россия. – СПб., 1997. – С. 92-117.
154. Семенцов, С.В. Карты и планы территорий Приневья до основания Санкт-Петербурга (сводный каталог) // Скандинавские чтения 2010 года. Этнографические и культурно-исторические аспекты Сборник статей. – СПб.: МАЭ РАН, 2012. – С. 155-237.
155. Семенцов, С.В. Система поселений шведского времени в планировке Санкт-Петербурга при Петре Первом // Швеция и Санкт-Петербург. – СПб., 1996. – С. 19-26.
156. Семенцов, С.В. Поселения допетербургских времен на карте Санкт-Петербурга // Реалтер. – СПб., 1996. – №5. – С. 64-67.
157. Семенцов, С.В. Значение территорий Приневья и Приладожья в общественном сознании Древней Руси и Скандинавии // Скандинавские чтения 2000 года. – СПб., 2002. – С. 91-145.

158. Семенцов, С.В. Санкт-Петербург: предыстория и первые шаги пространственного развития // Топонимический журнал. – 1998. – №1. – С. 19-40.

159. Семенцов, С.В. От шведского города к российской столице. О чем рассказывают карты и планы XVII–XVIII веков из Военного архива и Королевской библиотеки (Стокгольм), Российского Государственного архива Военно-Морского Флота и Библиотеки Российской Академии Наук (Санкт-Петербург) / С.В. Семенцов, У. Эренсверд, О.А. Красникова, Б. Геф-ферт, Т.П. Мазур, Г. Бээрнхильм, Т.А. Шрадер. – СПб., 2003. – 46 с.

160. Сердобольский, И.П. Окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия глееобразования // Труды почв. института им. В.В. Докучаева. Работы по химии и агрохимии почв. М.-Л.: Изд-во АНССР, 1950. Т. 31. – С. 73-82.

161. Синдаловский, Н. История Санкт-Петербурга в преданиях и легендах. – СПб., 1997.

162. Соколова, Т.В. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусственно созданных водных объектов в условиях природного и техногенного воздействия: диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.36 / Соколова Татьяна Владимировна; [Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)]. – Воронеж, 2015. – 154 с.

163. Сорокин, П.Е. Археологические исследования 1994 года в районе Смольного монастыря. // Петербургские чтения-1995. – СПб., 1995. – С. 288-290.

164. Сорокин, П.Е. Археологические исследования в устье реки Охты. Петербургские чтения. Петербург и Россия. – СПб., 1994. – С. 107-110.

165. Сорокин, П.Е. Археологические исследования Ландскроны и Ниеншанца // Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда. II. М.: ИИМК РАН, 2008. – С. 519-522.

166. Сорокин, П.Е. Археологические памятники Охтинского мыса. Наука в России. – М., 2011. – № 3 (183). – С. 19-26.

167. Сорокин, П.Е. Некоторые результаты изучения поселения Охта 1 в Санкт-Петербурге: Эпоха неолита – раннего металла // Археологическое наследие Санкт-Петербурга. – СПб., 2009. – Вып. 3. URL: http://www.spbae.ru/neolith_2009.htm (дата обращения: 24.05.2015).

168. Сорокин, П.Е. О системе расселения в Приневье в допетровское время // Сельская Русь в IX–XVI вв. – М., 2008. – С. 351-362.

169. Сорокин, П.Е. Погребальные памятники поздне-средневекового времени на территории Санкт-Петербурга и окрестностей // Археология и история Пскова и Псковской Земли. 2005 г. – Псков, 2006. – С. 232-241.

170. Сорокин, П.Е. Предшественники Петербурга: Ландскрона – Невское устье – Ниеншанц. 700 лет поселению на Неве. – СПб., 2001. – 56 с.

171. Сорокин, П.Е. Археологические исследования крепостей Ландскрона и Ниеншанц в устье реки Охты в 2008 г. / П.Е. Сорокин, А.В. Поляков, А.В. Иванова, К.А. Михайлов, И.П. Лазаретов, В.Д. Гукин, М.М. Ахмадеева, В.А. Глыбин, С.Г. Попов, С.А. Семенов // Предварительные результаты. Археологическое наследие Санкт-Петербурга. – СПб., 2009. – Вып. 3. – С. 188-203.

172. Стащук, М.Ф. Проблема окислительно-восстановительного потенциала в геологии. – М.: Недра, 1968. – 209 с.

173. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства». – М.: Госстрой РФ, 1997. – 107 с.

174. СП 47.13330.2012 – Инженерные изыскания для строительства.

175. Таусон, В.О. Наследство микробов. – М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1947. – 146 с.

176. Тимченко-Рубан, Г.И. Первые годы СПб: военно-исторический очерк. – СПб, 1901.

177. Три века СПб. Энциклопедия в 3 томах. – М., СПб, – Т. 1. – кн. 1,2, 2001.

178. Трипольская, А.А. «Русские Ингерманландии: история и культура (XVIII-начало XX в.)». – М., РГБ, 2006. – 227 с.

179. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. – СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2004.
180. Филюшкин, А. Статистический Петербург: Место города среди мировых столиц на рубеже XIX-XX веков // Родина. – 2003. – №1. – 40 с.
181. Хазанов, М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства. – М.: Наука, 1975. – 135 с.
182. Шарымов, А.М. Предыстория Санкт-Петербурга. 1703. – СПб.: Издательство Геликон Плюс, 2009. – 784 с.
183. Шаскольский, И.П. Борьба Руси за сохранение выхода к Балтийскому морю в XIV в. – Л., 1987. – 18 с.
184. Шаскольский, И.П. 1987б. О судьбе архивных материалов г. Ниеншанца // ВИД, №18. Л.
185. Шлегель, Г.Г. История микробиологии: Перевод с немецкого. – М.: изд-во УРСС, 2002. – 304 с.
186. Щербаков, А.В. Геохимические критерии окислительно-восстановительных обстановок в подземной гидросфере // Советская геология. – 1956. – № 56. – С. 72-82.
187. Экология микроорганизмов / А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко и др.; под.ред. А.И. Нетрусова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 272 с.
188. Эренсвэрд, У. Шведская картография Ингерманландии // Швеция и Санкт-Петербург. Второй научный семинар. Тексты докладов. – СПб., 1996. – С. 13-15.
189. Эрмитаж. История строительства и архитектура зданий / Под общей редакцией академика Б.Б. Пиотровского. – Л.: Стройиздат, 1990.
190. Яковлев, С.А. Наносы и рельеф Ленинграда и его окрестностей. – Л., 1925. – 186 с.
191. Якушева, Т.Л. Основания, фундаменты, стены Эрмитажных зданий (исторический очерк, современные исследования) // Архитектурные тетради, Государственный Эрмитаж. – СПб, 1994 г. – Вып. 1. – 332 с.

192. Baas Becking L.G.M. Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potential / L.G.M. Baas Becking, I.R. Kaplan, D. Moore // *Journ. Geol.* – 1960. – V.63. – №3. – PP. 243-284.

193. 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.

194. Postma D., / Jakobsen R / Characterization of redox condition in aquifers // *Groundwater 2000. Proceedings of the international conference on groundwater research / Copenhagen/Denmark / 6-8 June 2000 / A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield / 2000.* – PP. 207-209.

195. Risk assessment for contaminated sites. A case involving redox processes in a shallow aquifer/ E.O Landat, I.C. Bourg, M.A.M. Kedziorek, A.C.M. Bourg // *Groundwater 2000. Proceedings of the international conference on groundwater research / Copenhagen / Denmark / 6-8 June 2000 / A.A. Balkema / Rotterdam/ Brookfield / 1997.* – PP.161-165.

Фондовые источники

196. Отчет по НИР: «Анализ и оценка геотехнических и геоэкологических условий строительной площадки учебно-лабораторного корпуса СПГГИ для обоснования выбора рационального типа фундаментов» / Руководитель проф. Дашко Р.Э. – СПб, СПГГИ, 1999. – 154 с.

197. Отчет по НИР: «Основные положения предпроектных разработок с целью обоснования реконструкции и гидроизоляции фундаментов зданий Нового Эрмитажа» / Руководитель проф. Дашко Р.Э. – СПб, СПГГИ, 1994. – 280 с.