

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

На правах рукописи



Коробко Анастасия Андреевна

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА УСЛОВИЙ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ
(САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ РЕГИОН)**

**Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение**

**Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

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

Санкт-Петербург – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКОГО РЕГИОНА.....	12
1.1 Геологическая история формирования Предглинтовой низменности	13
1.2 Структурно-тектонические условия Предглинтовой низменности.....	21
1.3 Анализ действующих инженерно-геологических принципов оценки литифицированных глинистых отложений на примере нижнекембрийских синих глин	34
1.4 Значение четвертичных отложений при оценке инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности	48
1.5 Выводы к главе 1	63
ГЛАВА 2 ПРИРОДНЫЕ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРЕДЕЛАХ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ	66
2.1 Общие положения	66
2.2 Эндогенные процессы	70
2.2.1 Радоноопасность	70
2.2.2 «Глиняный диапиризм».....	76
2.3 Экзогенные процессы	81
2.3.1 Оползневые процессы	84
2.3.2 Заболачивание и его влияние на инженерно-геологические характеристики подстилающих отложений с учетом физико-химических и микробных факторов	95
2.3.3 Развитие плавунцов.....	104
2.4 Выводы к главе 2.....	108
ГЛАВА 3 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН ПЕРЕХОДА СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРЕДАВАРИЙНОЕ И АВАРИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НИЖНЕКЕМБРИЙСКИМИ СИНИМИ ГЛИНАМИ...	111
3.1 Исследование причин перехода в аварийное состояние гражданских зданий в Пушкинском районе и г. Никольское	111
3.1.1 Анализ перехода в аварийное состояние жилого 9-этажного здания	112
серии I-Лг-600, построенного в Пушкине в конце XX в.	112
3.1.2 Анализ перехода в аварийное состояние жилого 9-этажного здания	117

серии I-Лг-600, построенного в г. Никольское	117
3.2 Инженерно-геологическая оценка устойчивости транспортных сооружений на примере автомобильного тоннеля неглубокого заложения, выемки и насыпи в пределах КАД	121
3.2.1 Анализ перехода транспортной тоннельной конструкции неглубокого заложения в предаварийное состояние	121
3.2.2 Анализ перехода выемки на участке кольцевой автомобильной дороги в предаварийное состояние	138
3.2.3 Анализ причин потери устойчивости песчаной насыпи в пределах КАД	143
3.3 Анализ надежности использования нижекембрийских синих глин как формации для захоронения опасных промышленных отходов	147
3.3.1 Опытно-промышленный полигон «Красный Бор»	148
3.3.2 Подземные могильники РАО на территории Ленинградской области ..	155
3.4 Оценка длительной устойчивости наземных сооружений в зоне влияния подпорных гидротехнических сооружений	164
3.4.1 Анализ перехода детской городской больницы № 22 в предаварийное состояние	165
3.5 Выводы к главе 3	178
ГЛАВА 4 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ ПО УСЛОВИЯМ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	181
4.1 Инженерно-геологическое представление об уровне безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения	181
4.2 Значение структурно-тектонической обстановки для целей инженерно-геологического зонирования	184
4.3 Принципы инженерно-геологического зонирования территории Предглинтовой низменности для наземного строительства	187
4.4 Выводы к главе 4	202
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	205
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	212

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Предглинтовая низменность располагается в южной части Санкт-Петербургского региона и ограничивается с севера Приморской низменностью, а с юга - Балтийско-Ладожским уступом (глинтом). К Предглинтовой низменности приурочены южные и юго-западные районы Санкт-Петербурга, в том числе Кировский, Красносельский, Московский, Колпинский, Пушкинский, Петродворцовый, Фрунзенский и Невский, Ломоносовский и Тосненский районы Ленинградской области, а также города Павловск и Никольское.

Согласно инженерно-геологическому районированию, выполненному Санкт-Петербургской комплексной геологической экспедицией ещё в 1989 году, а позднее использованному при составлении «Геологического Атласа Санкт-Петербурга», южная и юго-западная части города, приуроченные к Предглинтовой низменности, были отнесены к территории с благоприятными (простыми) инженерно-геологическими условиями строительства.

В инженерно-геологическом разрезе рассматриваемой территории особое место занимают нижнекембрийские синие глины, которые рассматриваются как объект многоцелевой инженерной деятельности в качестве естественного основания сооружений (гражданских, промышленных и транспортных), как среда размещения транспортных тоннелей и выемок, и формация для складирования опасных промышленных отходов. Кроме того, до недавнего времени планировалось захоронение радиоактивных отходов Ленинградской АЭС в синих глинах вблизи поселка Копорье (Ломоносовский район Ленинградской области).

В настоящее время в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона ведется либо проектируется строительство сооружений различного назначения, вступил в эксплуатацию новый терминал международного аэропорта.

Однако опыт строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в пределах Предглинтовой низменности показывает, что в ряде

случаев наблюдался их переход в аварийное, либо предаварийное состояние. При этом чаще всего аварийные ситуации возникали в связи с некорректной инженерно-геологической оценкой нижнекембрийских синих глин, отсутствием достоверной информации об инженерно-геологических процессах в пределах рассматриваемой территории, а также за счет игнорирования специфики гидродинамических условий в зоне влияния старинного гидротехнического сооружения с действующим водохранилищем петровского времени, рассматриваемого как промышленный архитектурный памятник, в Колпинском районе.

Вопросы обеспечения безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в сложных инженерно-геологических условиях городских территорий при воздействии природных и техногенных факторов освещались в работах Е.М. Сергеева, В.И. Осипова, Ф.В. Котлова, В.Т. Трофимова, В.Д. Ломтадзе, В.А. Королева, Р.А. Мангушева, Г.С. Голодковской, И.П. Иванова, Р.Э. Дашко, В.М. Улицкого, А.Г. Шашкина, И.И. Сахарова, М.И. Спиридонова и др.

Накопленный материал по исследованию взаимодействия сооружений с нижнекембрийскими глинами дает возможность утверждать, что возникла острая необходимость в разработке новых научно-практических подходов к их инженерно-геологической оценке и зонирования территории Предглинтовой низменности по степени сложности её освоения и опасности развития природных и природно-техногенных процессов различного генезиса.

Цель работы. Повышение безопасности освоения подземного пространства и обеспечение длительной устойчивости проектируемых и эксплуатируемых сооружений различного назначения на основе установления закономерностей формирования инженерно-геологических условий территории Предглинтовой низменности с учетом анализа нижнекембрийских глин как трещиновато-блочной, зонально-построенной по глубине толщи, высокой степени их уязвимости по отношению к техногенным воздействиям.

Основные задачи исследований

1 Анализ формирования и изменения инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности с учетом природных и техногенных факторов, в том числе наличия диапировых структур и палеодолин, а также влияния старинного гидротехнического сооружения и заболоченности территории.

2. Оценка закономерности изменения состояния и физико-механических свойств нижнекембрийских глин как трещиновато-блочной среды с позиции их рассмотрения как основания либо среды сооружений в условиях активно протекающего техногенеза.

3. Обоснование инженерно-геологических основ зонирования Предглинтовой низменности для оценки условий строительства и обеспечения длительной устойчивости проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений различного назначения с учетом глубины залегания кровли дочетвертичных пород, действующих и прогнозируемых природных и природно-техногенных процессов.

Фактический материал и личный вклад автора

Диссертация является продолжением научно-практических исследований формирования и изменения инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга, в том числе Предглинтовой низменности, проводимых на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии «Национального минерально-сырьевого университета «Горный». Автором выполнен анализ большого объема фондовых материалов по изучению инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона, включая его структурно-тектонические, геологические и гидрогеологические условия, а также влияние болот и старинного гидротехнического сооружения. Кроме того, автором проводились полевые работы, в которые входили: опробование синих глин на оползневых склонах рек Славянки и Тосны, документация скважин при проведении изысканий в г. Колпино для определения причин перехода комплекса зданий детской больницы №22 в предаварийное состояние, специализированная съемка и опробование на автодорожном тоннеле неглубокого заложения, а также

экспериментальные исследования состава, состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых отложений с целью установления влияния различных факторов, в том числе контаминации, на физико-механические свойства пород разреза Предглинтовой низменности. Выполнен инженерно-геологический анализ перехода ряда сооружений в период строительства и эксплуатации в аварийное либо предаварийное состояние на основе специфики взаимодействия сооружений с многокомпонентной подземной средой.

Основные методы исследований. Теоретические исследования условий формирования и природы прочности синих глин, их зонального строения и генезиса трещиноватости, экспериментальные инженерно-геологические исследования состава, состояния и физико-механических свойств четвертичных отложений и нижнекембрийских синих глин с изучением микробной составляющей; прямые и косвенные методы микробиологических исследований для оценки микробной пораженности грунтов и установления численности и видового состава различных форм микроорганизмов; использование расчетной модели квазипластичной среды для оценки устойчивости наземных сооружений, в том числе транспортных, на территории Предглинтовой низменности.

Научная новизна работы

- Установлены закономерности формирования и преобразования инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности с учетом особенностей развития эндогенных и экзогенных процессов на рассматриваемой территории. Применен принцип инженерно-геологического анализа причин перехода сооружений различного назначения, возводимых на нижнекембрийских синих глинах и четвертичных отложениях, в аварийное и предаварийное состояние.

- На основе выполненных исследований содержания микробной массы в трещиновато-блочных синих глинах установлено, что перенос микроорганизмов и продуктов их метаболизма осуществляется по системе трещин.

- Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказана повышенная микробная пораженность по сравнению с фоновой четвертичных и

дочетвертичных отложений за счет их заболачивания и воздействия различных источников контаминации на подземную среду.

Защищаемые положения

1. Инженерно-геологическая оценка территории Предглинтовой низменности, в разрезе которой нижнекембрийские синие глины служат основанием либо средой сооружений, должна сопровождаться изучением структурно-тектонических условий территории, определяющих степень дезинтегрированности и зональности строения толщи глин по глубине, наличия погребенных долин и диапиризма, а также мощности четвертичных отложений.

2. При проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений на нижнекембрийских синих глинах необходимо выполнить прогнозирование их негативного преобразования под воздействием не только специфики распределения напряжений в анизотропных средах, но и влияния физико-химических и биохимических факторов, интенсивность которого будет зависеть от степени дезинтеграции этих глин, определяющей их проницаемость.

3. Инженерно-геологическое зонирование территории Предглинтовой низменности должно базироваться на учете глубины залегания дочетвертичных отложений не только нижнекембрийского возраста, но и верхнего венда, их трещиноватости, а также проявлений и воздействия эндогенных и экзогенных процессов различного уровня опасности.

Практическая значимость работы

- Использован комплексный подход к оценке инженерно-геологических условий территории, в разрезе которой четвертичные и дочетвертичные отложения служат основанием либо средой сооружения в условиях воздействия физико-химических и биохимических факторов в пределах развития болот и объектов контаминации, для повышения надежности прогнозирования устойчивости проектируемых сооружений и условий безопасного функционирования сооружений различного назначения.

- Выделены основные природные и природно-техногенные факторы, в том числе наличие разломов, с которыми связано развитие погребенных долин и

трещиноватость пород, проявление диапиризма и эманаций газов, кроме того, показано негативное воздействие заболачивания на подстилающие четвертичные и дочетвертичные отложения, развитие специфических гидродинамических условий в зоне влияния старинного водохранилища, приводящих к формированию зыбучих песков, которые определяют условия строительства и длительную устойчивость сооружений различного назначения в южной части Санкт-Петербургского региона.

- С учетом влияния широкого развития дезинтегрированности коренных песчано-глинистых отложений, преобразования дисперсных грунтов различного генезиса и возраста под воздействием микробиологической деятельности и влияния природных и природно-техногенных факторов, что не принималось во внимание при разработке принципов инженерно-геологического районирования и построения карт в 1984 – 2009 гг., выполнено зонирование территории Предглинтовой низменности с целью повышения безопасности строительства и эксплуатации наземных сооружений.

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, базируется на большом объеме выполненных теоретических и экспериментальных исследований по формированию и выявлению закономерностей изменения состояния и прочности синих глин по глубине разреза территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона с учетом их трещиноватости, проведенных полевых и лабораторных исследований физико-механических свойств, а также степени микробной пораженности отложений четвертичного возраста и глин нижнего кембрия. 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 и коренных глин в разрезе Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона. Кроме того, в работе также были использованы результаты, полученные в ходе проведения научно-исследовательских работ при непосредственном участии автора: «Геотехническое

прогнозирование влияния микробиотической деятельности на безопасность освоения и использования подземного пространства мегаполисов и горнопромышленных регионов» (2012 г.), «Научно-методическое и информационное обеспечение специализированной лаборатории инженерно-геологической диагностики компонентов подземного пространства мегаполисов и горнопромышленных регионов» (2013-2014 гг.)

Реализация результатов исследований. Результаты, полученные при подготовке диссертации, рекомендуются к применению при проектировании сооружений различного назначения не только в пределах территории южных районов Санкт-Петербурга, но и в аналогичных инженерно-геологических условиях на всей территории Предглинтовой низменности. Полученные результаты работы будут использованы при совершенствовании нормативных документов по проведению инженерных изысканий и территориальных строительных норм, а также рядом организаций, таких как СПб НИИ градостроительного проектирования, ОАО «Ленниипроект», ЗАО «Институт Ленпромстройпроект», ООО «Горниипроект», ООО «ПИ Геореконструкция» при подготовке проектов для строительства сооружений.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: «Полезные ископаемые России и их освоение» («Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, 2011, 2012 гг.), «Шестнадцатые Сергеевские чтения. Развитие научных идей академика Е.М. Сергеева на современном этапе» (Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 2014 г.), международных конференциях молодых ученых в Краковской горно-металлургической академии (Краков, Польша, 2012 гг.) и Фрайбергской горной академии (Фрайберг, Германия, 2014 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 10 статьях, из которых 3 опубликованы в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки Российской Федерации.

Структура работы. Диссертационная работа изложена на 224 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 109 наименований, содержит 84 рисунка, 25 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность за постоянную помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертационной работы научному руководителю д.г.-м.н., проф. Р.Э. Дашко. Автор благодарит всех сотрудников и членов кафедры гидрогеологии и инженерной геологии «Национального минерально-сырьевого университета «Горный» за обсуждение материалов диссертации. Отдельную благодарность автор выражает асп. И.В. Алексееву, асп. И.Ю. Ланге за содействие в проведении полевых и лабораторных работ. Автор выражает благодарность д.б.н., проф., заведующему лабораторией микологии и альгологии СПбГУ Д.Ю. Власову за помощь в проведении микробиологических исследований.

ГЛАВА 1 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ САНКТ- ПЕТЕРБУРГСКОГО РЕГИОНА

К Предглинтовой низменности приурочены южные и юго-западные районы Санкт-Петербурга, в том числе Кировский, Красносельский, Московский, Колпинский, Пушкинский, Петродворцовый, Фрунзенский и Невский, а также Ломоносовский и Тосненский районы Ленинградской области (рисунок 1.1).

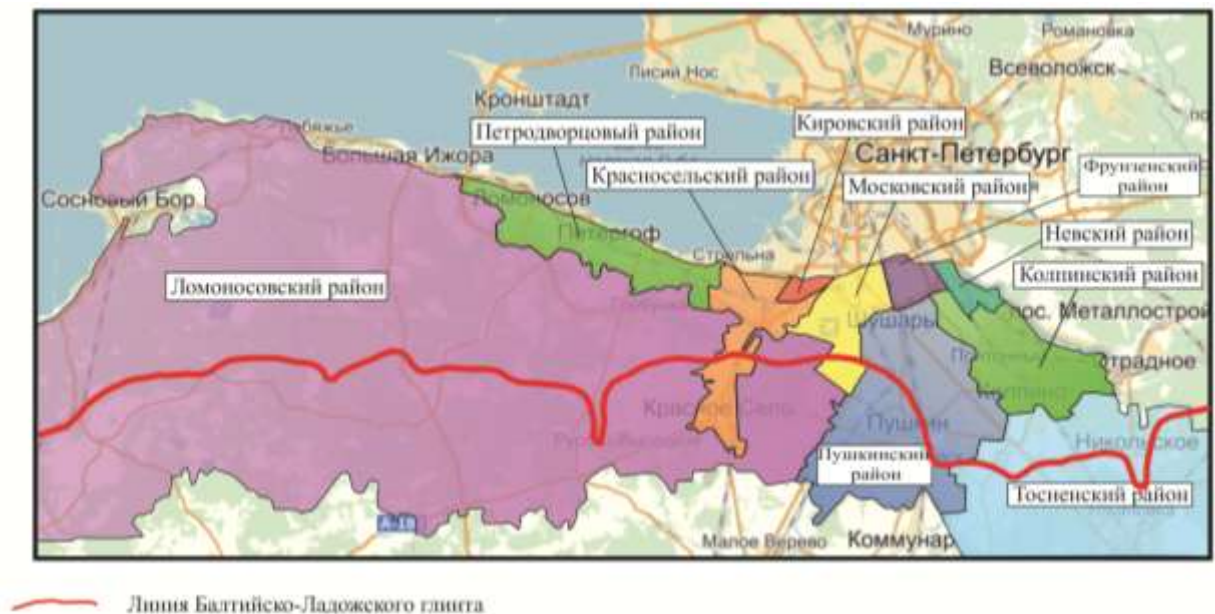


Рисунок 1.1 – Районы Санкт-Петербурга и Ленинградской области в пределах
Предглинтовой низменности

Предглинтовая низменность должна рассматриваться как наименее изученная с инженерно-геологических позиций, поскольку анализировалась как территория с благоприятными условиями для строительства и эксплуатации сооружений различного назначения.

Такой подход определялся, прежде всего, широким развитием на исследуемой территории неглубоко залегающих литифицированных нижнекембрийских глин, оцениваемых как надежное основание и среда сооружений [64, 65, 96, 97].

Однако накопленный материал опыта строительства и эксплуатации показывает, что количество аварийных и предаварийных ситуаций, которые возникают при строительстве и эксплуатации сооружений, не уменьшается, а

увеличивается в связи с активизацией освоения рассматриваемого региона. Эта территория используется не только для гражданского и промышленного строительства, но также для транспортных сооружений – тоннелей, насыпей и выемок. Предполагается, что через Предглинтовую низменность будет проложена линия метрополитена до аэропорта.

Достоверность прогноза взаимодействия вмещающей толщи с сооружениями различного назначения в пределах Предглинтовой низменности во многом зависит от знания геологической истории формирования рассматриваемой территории, её структурно-тектонической обстановки, техногенной пораженности освоенных территорий, а также подхода к инженерно-геологической оценке разреза толщи в южной части Санкт-Петербургского региона.

1.1 Геологическая история формирования Предглинтовой низменности

Предглинтовая низменность в пределах города Санкт-Петербурга располагается на стыке двух крупных региональных структур: Балтийского кристаллического щита, где сложно дислоцированные метаморфизованные породы архея, нижнего и среднего протерозоя залегают на небольшой глубине под маломощным чехлом четвертичных отложений, либо выходят на дневную поверхность, и северо-западной части Русской плиты, представляющей собой область погружения фундамента под осадочный чехол. На западе рассматриваемая территория примыкает к Финскому заливу, а на северо-востоке к реке Неве, с севера Предглинтовая низменность ограничивается Центральным поднятием Карельского перешейка, с юга - Балтийско-Ладожским уступом (глинтом).

Формирование Балтийского щита происходило 2-3 млрд. лет назад, в архейскую и протерозойскую эры истории развития земной коры, в разрезе которого породы метаморфического происхождения — гнейсы, сланцы и амфиболиты, возникшие в результате преобразования осадочных и вулканогенных пород, прорваны породами, образовавшимися в результате внедрения магматических расплавов в разломы и трещины земной коры,

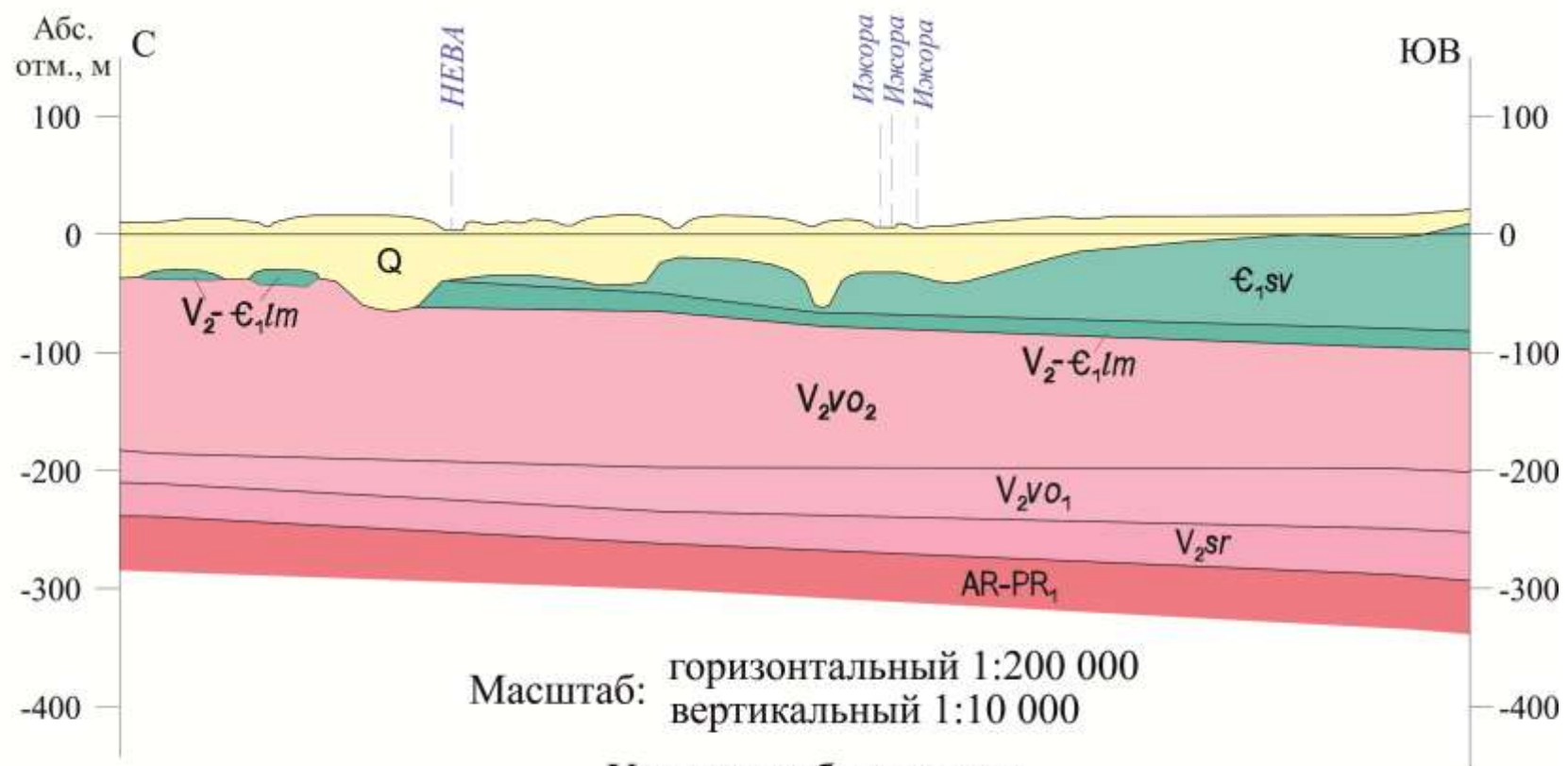
представленные габбро-норитами, габбро-диабазами и гранитами различного состава [64].

Толща пород Балтийского щита смята в складки и разбита на отдельные блоки, которые на его южном склоне становятся фундаментом Русской плиты, погребенным под чехлом более молодых осадочных отложений, в связи с чем разрез рассматриваемого региона имеет двухэтажное строение (рисунок 1.2). Кровля пород нижнего этажа - кристаллического фундамента по данным бурения и геофизических исследований полого погружается к юго-востоку и в пределах Предглинтовой низменности залегает на достаточно большой глубине 200-285 м, достигая на юго-востоке территории 300 м и более.

Кристаллический фундамент перекрывается осадочным чехлом (верхний этаж), в котором необходимо выделять две толщи отложений верхнюю и нижнюю, представленные песчано-глинистыми грунтами четвертичного возраста (390 тыс. лет и моложе) и коренными породами осадочного чехла - нижнего кембрия (505-570 млн. лет) и верхнего венда (570-650 млн. лет), соответственно.

Коренные отложения осадочного чехла формировались в обширных мелководных эпиконтинентальных морях, покрывавших значительные области Восточно-Европейской платформы. Развитие упомянутых морей началось около 600 млн. лет назад, во второй половине вендского периода, вследствие прогибания земной коры и образования Московской синеклизы (ныне Московская моноклинали). Терригенный материал в обширный морской бассейн поступал с Балтийского щита, Белорусского и Лонковского поднятия. Морские трансгрессии неоднократно сменялись регрессиями, в ходе которых рассматриваемая территория на большее или меньшее время превращалась в сушу. В венде море наступало с востока и запада, а затем, начиная с раннего кембрия, только с запада.

В кембрийском периоде продолжается дифференциация тектонического режима, начавшаяся ещё в позднем протерозое, обуславливающая периодические наступления моря на сушу.



Условные обозначения:

AR-PR ₁	Породы кристаллического фундамента	$V_2-\epsilon_{1lm}$	Отложения верхнего венда - нижнего кембрия ломоновского горизонта
V_2sr	Отложения редкинского горизонта старорусской свиты верхнего венда	ϵ_{1sv}	Нижнекембрийские отложения сиверской свиты
V_2vo_1	Отложения нижнего котлинского горизонта василеостровской свиты верхнего венда	Q	Четвертичные отложения
V_2vo_2	Отложения верхнего котлинского горизонта василеостровской свиты верхнего венда		Стратиграфические границы

Рисунок 1.2 – Схематический геологический разрез Предглинтовой низменности [67]

В лонтоваский век, когда трансгрессия нижнекембрийского моря достигла максимума, в условиях теплого климата и поступления дисперсного материала с кор химического выветривания Украинского и Балтийского щитов образовались мощные слои синих глин. Кроме того, терригенный материал в кембрийское море поступал при размыве верхнекотлинских глин венда. Распространение нижнекембрийского моря показано на рисунке 1.3.

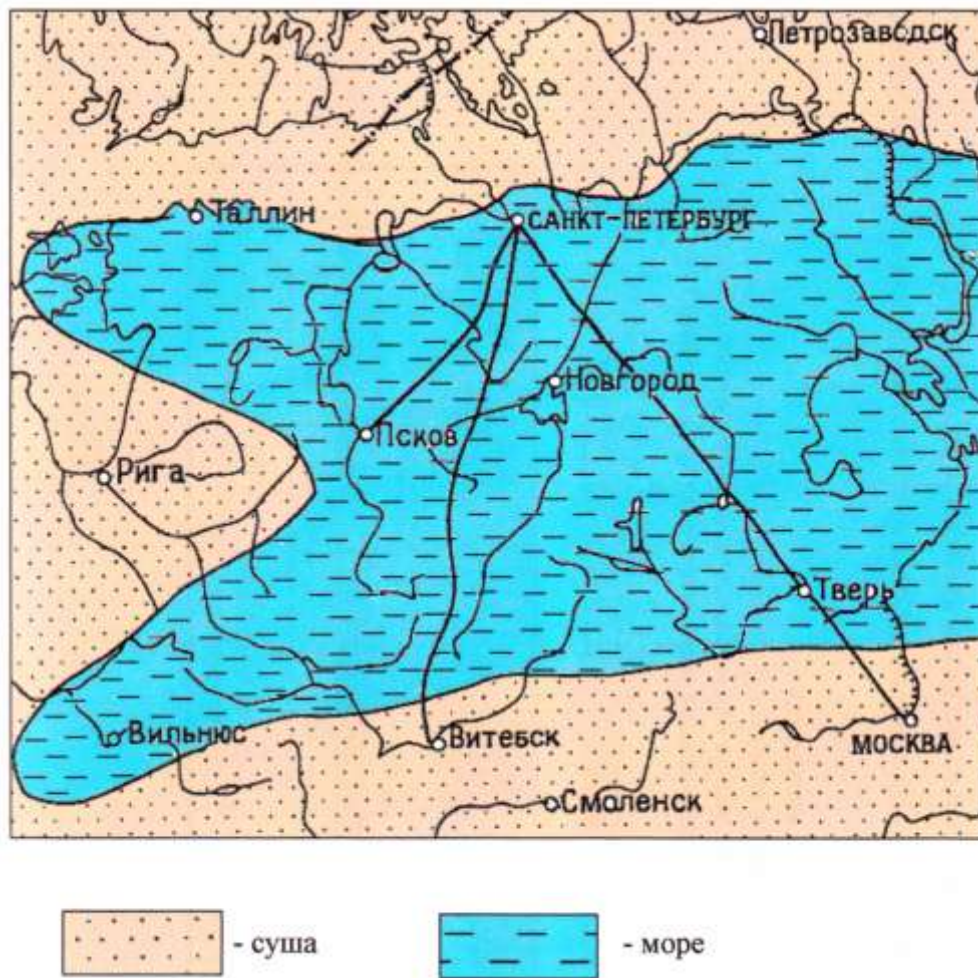


Рисунок 1.3 – Соотношение моря и суши в раннем кембрии (лонтоваский век) [53]

После континентального перерыва, наступившего вслед за отложениями лонтовасских (синих) глин (о чем свидетельствует наличие коры выветривания), в сместившемся на запад кембрийском море накапливались предположительно среднекембрийские осадки (тискреский горизонт), в то время как на востоке на рассматриваемой территории происходил подъем дна бассейна на дневную поверхность, выветривание и денудации синих глин.

Около 300 миллионов лет назад рассматриваемая территория последний раз поднялась выше уровня моря и превратилась в поднятую равнинную сушу. Под влиянием выветривания, речной эрозии, а, в сравнительно недавней истории, и движения ледников отложения позднего протерозоя, мезозоя и ранних этапов кайнозоя на рассматриваемой территории не сохранились. Пески и глины разрушались интенсивнее, чем плотные сцементированные разности (известняки, песчаники). Так образовались крупные неровности, ясно выраженные в современном рельефе территории: низменности на месте выходов рыхлых пород и возвышенности, сложенные плотными породами - плато. Свой нынешний вид территория приобрела только 11,5-10 тысяч лет назад, после отступления материковых льдов Великого четвертичного оледенения.

Основной особенностью геологической структуры области развития осадочных отложений является пологое моноклиналиное залегание слагающих ее образований, с очень слабым падением их к югу и юго-востоку. Соответственно в этом же направлении происходит последовательная смена древних осадочных толщ более молодыми, выходящими на поверхность по восстанию слоев (рисунок 1.2).

Другой характерной особенностью геологического строения осадочного чехла описываемой территории, кроме его моноклиналиного залегания, является развитие структурно-денудационных форм дочетвертичного рельефа, представляющих собой Предглинтовую низменность и глинт - уступ, ограничивающий эту низменность (рисунок 1.4). Формирование куэстового рельефа связано здесь, прежде всего, с древней эрозией, а также, возможно, с проявлением эндогенных процессов и новейших тектонических движений.

Предглинтовая низменность представляет собой комплекс аккумулятивных террасовых поверхностей (с малыми абсолютными высотами от 0 до 27 м над уровнем моря), наклоненных в сторону Финского залива и Ладожского озера. В системе террас можно выделить следующие уровни: 0 - 9 м; 9 - 16 м; 16 - 23 м; 23 - 27 м. Переходы между террасами обычно выражены в виде четких уступов, высотой от 1 - 2 м до 5 - 6 м или в виде пологих склонов.



Условные обозначения:

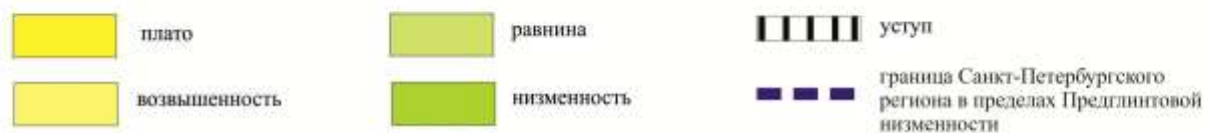


Рисунок 1.4 - Орографическая схема [67]

Это область развития преимущественно терригенных пород вендской и кембрийской систем, которые выходят на дневную поверхность, либо перекрыты тонким покровом молодых четвертичных отложений, мощность которых увеличивается в восточном направлении.

Предглинтовой низменностью, широтно простирающейся к северу от подножья глинта и побережьем Финского залива, называют полосу шириной 9-20 км, которая на востоке района по берегам р. Невы переходит в Приневскую низину. Предглинтовая и Приневская низины представляют собой, в основном, заболоченную, плоско-волнистую террасированную равнину, относительные превышения которой обычно не более 5 м. На этом фоне в низинах встречаются участки холмистого и грядового рельефа, на 10-20 м, возвышающиеся над окружающей местностью.

Первоначальный облик рельефа Приморской, Приневской и Предглинтовой низин местами изменен хозяйственной деятельностью, наиболее сильно в пределах Санкт-Петербурга.

Балтийско-Ладожский глинт представляет собой естественный денудационный уступ, к которому и приурочены естественные выходы осадочных горных пород нижнего палеозоя - кембрия и ордовика. Название «Балтийско-Ладожский глинт» было предложено В. В. Ламанским еще в 1901 году. Происхождение глинта до сих пор вызывает много споров. Некоторые исследователи считают, что он маркирует береговой уступ четвертичного моря-озера, сформировавшегося после таяния ледника, другие - что глинт образовался в результате эрозионной деятельности древней реки, протекавшей с востока на запад (Селиванова, Кофман, 1971). Глинт имеет, в целом, протяженность более 1000 км. В описываемом регионе глинт простирается в 15-25 км к югу от Финского залива, реки Невы и Ладожского озера.

Большое влияние на формирование рельефа Санкт-Петербурга и его окрестностей оказали геологические процессы, происходившие в четвертичный период, когда на начальной стадии *ледниковые эпохи* чередовались с межледниковыми. Двигавшиеся ледники вспахивали поверхность, углубляя

встречавшиеся на их пути понижения рельефа и создавая новые, которые во времена таяния ледников заполнялись водой, образуя узкие приледниковые озёра, в которых накапливались песчано-глинистые отложения. Четвертичные породы покрывают ныне большую часть территории рассматриваемого региона. Происхождение верхней толщи осадочного чехла связано с тремя ледниковыми, двумя межледниковыми, позднеледниковыми и послеледниковыми периодами в геологической истории развития Санкт-Петербургского региона.

Мощность четвертичных отложений зависит от подземного рельефа кровли нижней толщи, имеющей большой перепад абсолютных отметок за счет эрозионной деятельности древней речной системы, которая прорезала коренные отложения на различную глубину. В четвертичное время древние речные долины, представляющие собой понижения в рельефе, были полностью заполнены ледниковыми и межледниковыми отложениями.

История развития территории до днепровского оледенения включительно устанавливается с трудом, только по отложениям соседних территорий, так как почти каждый вновь поступающий ледник почти полностью уничтожал отложения предыдущих, вследствие чего четвертичная толща описываемой площади сложена в основном отложениями московского (в глубоких палеодолинах) и валдайского оледенений [64, 65, 67].

Наступившее после днепровского московское оледенение обусловило развитие морены и озерно-ледниковых отложений, которые в описываемом регионе встречаются только в тальвегах погребенных палеодолин.

Начало позднего неоплейстоцена ознаменовалось крупным потеплением (микулинским межледниковым), приведшим к полному исчезновению ледникового покрова и возникновению обширного морского бассейна, южным берегом которого служил Балтийско-Ладожский глинт. Предглинтовая низменность являлась морской акваторией непродолжительное время, волна похолодания начавшаяся во второй половине межледниковья (110-115 тыс. лет назад) обусловила возникновение последнего валдайского покровного оледенения [64].

Морские отложения микулинского горизонта и ранневалдайская подпорожская морена на рассматриваемой территории присутствуют только в пределах палеодолин.

В течение всего средневалдайского интервала (50 -24 тыс. лет назад) территория Санкт-Петербургского региона представляла собой область широкого развития древних озер различных по размерам.

Начало позднего валдая (осташковское время) связано с новым похолоданием, имевшим место примерно 25 тыс. лет назад (лужская стадия). В связи с наступлением поздневалдайского ледника вся территория вновь была покрыта льдом. С его деградацией начался новый этап окончательного освобождения территории Санкт-Петербурга и современной Ленинградской области от ледникового покрова, начало этапа оценивается в 14 тыс. лет назад.

В период, когда территория постепенно освобождалась от ледникового покрова, во впадинах между отступающим ледником и поднятиями рельефа скапливались талые воды, образовавшие Балтийское ледниковое озеро. Отложения этого водного бассейна представлены песками, супесями, ленточными суглинками и глинами.

В голоцене продолжались те же процессы осадконакопления, которые начались после ледника. Формировались пойменные террасы рек, начались процессы заболачивания и торфообразования, которые продолжаются до сих пор.

1.2 Структурно-тектонические условия Предглинтовой низменности

Сложность инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности зависит от особенностей её структурно-тектонической обстановки, которые определяют: степень трещиноватости коренных пород осадочного чехла и отложений кристаллического фундамента, незакономерность изменения их прочности и деформационных свойств, а также проницаемости; развитие эндогенных процессов (блоковые движения, «глиняный диапиризм», эманации радона и других газов); положение погребенных долин различной глубины [68].

Следовательно, для обеспечения длительной устойчивости и эксплуатационной надежности сооружений различного назначения на стадии их

проектирования в пределах Предглинтовой низменности необходим учет её структурно-тектонических условий, что в настоящее время в современной базе нормативных документов Санкт-Петербурга не осуществляется.

Как уже упоминалось ранее, Санкт-Петербургский регион находится в области сочленения Балтийского щита с Русской плитой и приурочен к зоне трансконтинентального Лапландско-Нильского линеамента с кинематикой сдвига и сжатия, дешифрованного по результатам космических снимков (Буш В.А. и др., 1984) (рисунок 1.5). В пределах выделенного линеамента, как правило, наблюдаются геофизические аномалии, наличие большого количества разломов и, как следствие, интенсивное развитие эндогенных и экзогенных процессов.

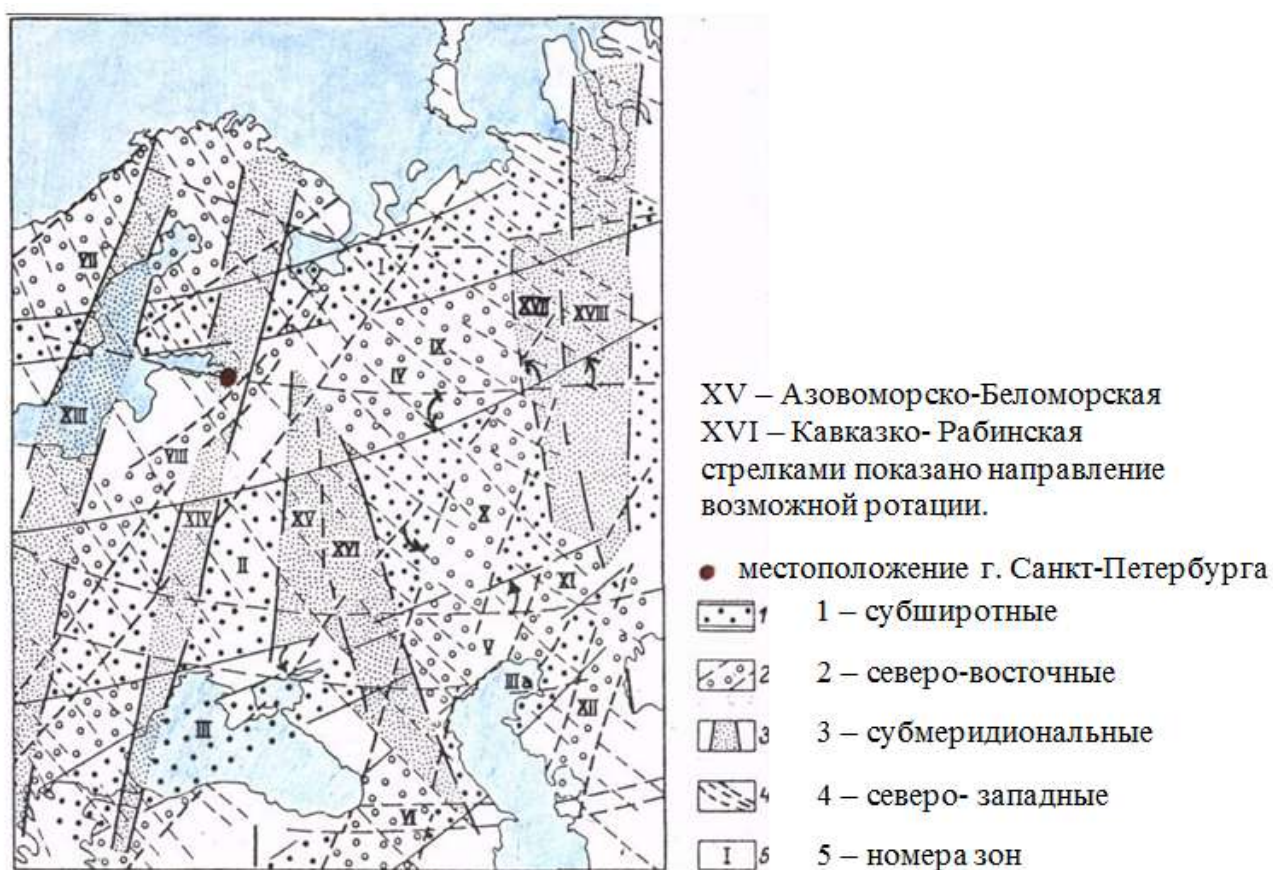


Рисунок 1.5 - Линеаментные зоны Русской платформы. (Кац Б.Я. и др., 1986)(исходный масштаб 1:7500000)

В добайкальский этап развития территории в кристаллическом фундаменте, принадлежащем по своему строению к Свекофенской области, сформировалась система ступенчатых горстов и грабенов за счет активизация тектономагматических процессов. Эта система накладывается на комплекс

крупных региональных структур кристаллического фундамента Ладожского срединного массива, разделенного Западно – Ладожской синклинойной зоной и Приозерской депрессией (рисунок 1.6) [8].

Описываемая глобальная полоса неотектонических дислокаций также носит название зоны Брегера-Полканова, выделенной в 1949 году А.А. Полкановым как позднедокембрийская флексура с возрастом 1,2-1,4 млрд. лет. Эта зона прослеживается от Белого моря, через Онежское и Ладожское озера, Финский залив и далее на юго-запад, имеет ширину до 120-150 км и протяженность более 2000 км. Зона Брегера-Полканова является тектонической границей интенсивно поднимающегося Балтийского щита, скорость подъема которого превышает скорость поднятия многих горных хребтов.



Рисунок 1.6 - Схематическая тектоническая карта зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты [7]

Рассматриваемая территория также находится на стыке двух структур низшего (II-го) порядка – Центрального Карельского перешейка (Карельский горст) и Восточно-Балтийской ступени, ограниченных разрывными нарушениями

северо-западного направления. К структурам III-го порядка в пределах Восточно-Балтийской ступени, куда попадает Предглинтовая низменность Санкт-Петербургского региона, относятся Ижорская ступень и впадина Финского залива.

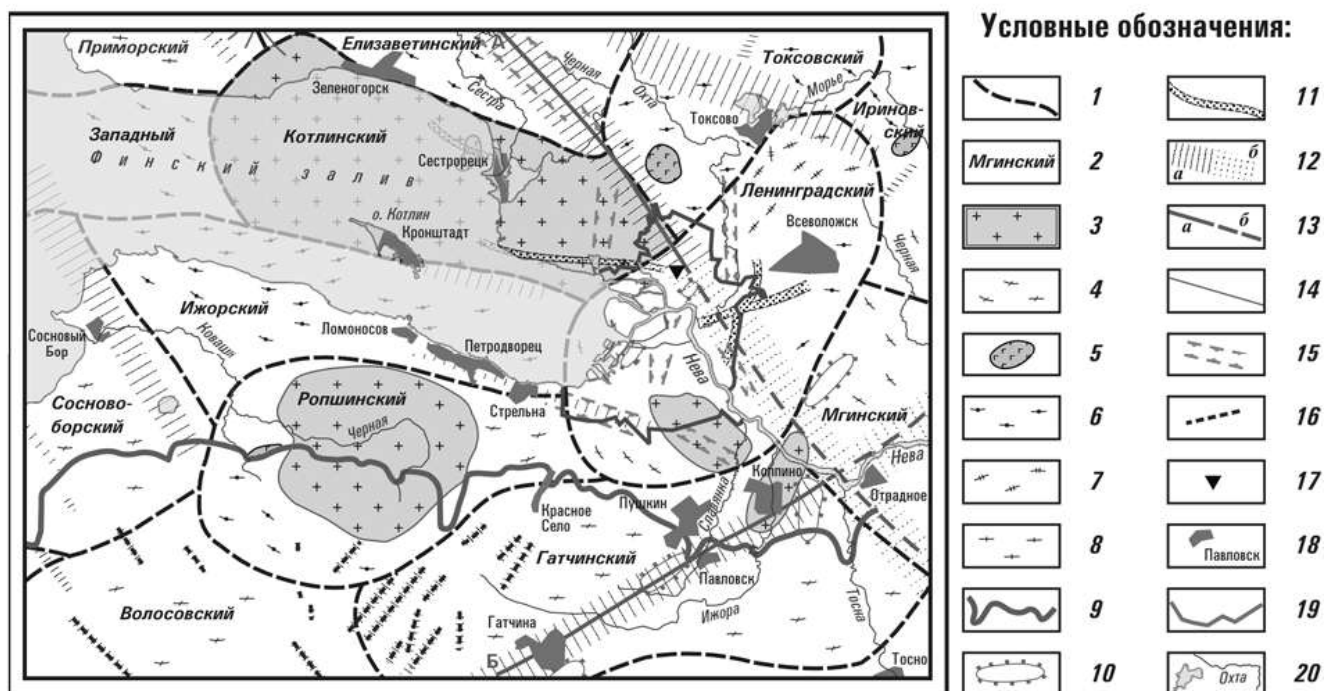
Крупнейшими структурами осадочного чехла, определяющими его тектонический облик, являются байкальский структурный комплекс, каледонский, герцинский и альпийский структурные ярусы, соответствующие главным циклам орогенеза.

Особенности этих циклов определили время и площадь развития трансгрессий и регрессий на Русской плите, в течение которых сформировались три главных вещественных комплекса плитной части чехла, названные в соответствии *синкаледонским*, *сингерцинским* и *сиальпийским* [54].

Следует отметить, что в период альпийского цикла орогенеза происходит формирование «дочетвертичных поверхностей», выраженных в современном рельефе в виде плато, уступов (Балтийско-Ладожский глинт), низин (Предглинтовая низменность), эрозионных, в том числе и переуглубленных долин, изолированных возвышенностей на месте локальных структур.

В рассматриваемом регионе за пределами влияния региональной тектонической зоны Л.Г. Кабаков и Н.Ф. Скопенко в результате структурно-тектонического районирования территории по данным бурения, карт потенциальных полей, использования наземной электроразведки, гидрохимии, а также косвенных геологических данных выделили отдельные блоки в кристаллическом фундаменте, различающиеся по вещественному составу, плотностным характеристикам и внутренней структуре (рисунок 1.7) [50].

В соответствии с данными приведенной ниже схемы исследуемый регион относится к Ленинградскому, Ижорскому и Гатчинскому блокам. Ленинградский блок сложен биотитовыми гнейсами с линзами metabазитов с четко выраженной северо-восточной структурной ориентировкой. Крупным элементом в границах блока является региональный разлом северо-западной ориентации Вещево – Санкт-Петербург – Чудово.



1 – границы блоков (геодинамических систем); 2 – наименования блоков; 3 – граниты плагиомикроклиновые; 4 – гранитогнейсы, граниты порфиробластовые; 5 – диориты, метагабброиды (в том числе, не входящие в эрозионный срез кристаллического фундамента); 6 – гнейсы биотит-амфиболовые; 7 – гнейсы биотитовые с гранатом и кордиеритом; 8 – гнейсы биотитовые; 9 – ордовикский глинт; 10 – локальные поднятия; 11 – древние долины. «Активизированные» разрывные нарушения кристаллического фундамента: 12 – области динамического влияния разломов (а – достоверные, б – предполагаемые); 13 – региональные разломы (а – достоверные, б – предполагаемые): А – разлом Вещево-Чудово, Б – разлом Гатчина-Колпино; 14 – локальные разломы, установленные по геологическим данным; 15 – контрастные линейные малоамплитудные структуры в рельефе фундамента (по данным бурения, сейсморазведки и электроразведки); 16 – линейные трещинные зоны в карбонатной пачке ордовика; 17 – участок трассы метрополитена с осложненными горно-геологическими условиями; 18 – крупные населенные пункты Ленинградской области и пригородных районов Санкт-Петербурга; 19 – граница городской застройки Санкт-Петербурга; 20 – реки и прочие водоемы.

Рисунок 1.7 – Блоковое строение западной части Ленинградской области по Л.Г. Кабакову и Н.Ф. Скопенко. Масштаб 1:1000 000 [2, 50]

Западнее Ленинградского блока расположен Ижорский блок – геодинамическая система на гранитогнейсовом фундаменте, занимающий территорию южного побережья и южной водной полосы Финского залива. Гатчинский блок расположен в южной части рассматриваемой территории и выходит за границы Балтийско-Ладожского глинта. Блок сложен биотитовыми гнейсами; характерной чертой его внутреннего строения является широкое развитие разломов северо-восточной ориентировки (параллельно региональному разлому Гатчина-Колпино), активизированному в постордовикское время [64].

Большинство блоков имеет свою, характерную только для себя, сеть тектонических нарушений, в том числе и активированных. Во время тектонической активизации каждый блок реагирует в соответствии со своей внутренней структурой и использует для разрядки напряжений наиболее близкую по направлению систему разломов.

Ядра сравнительно однородных блоков сохраняют свою стабильность, а наиболее вероятные подвижки происходят по границам блоков и по крупным региональным разломам. Смещения пород фундамента сопровождаются смещениями осадочного чехла. Характер и параметры таких дислокаций будут определять структурно-геологические особенности пород перекрывающих толщ.

Геоморфологические и геодезические исследования показывают, что северный берег Финского залива поднимается, а южный - опускается. Скорости вертикальных перемещений изменяются от +2 мм/год до -8,5 мм/год (рисунок 1.8) [6]. Вместе с тем южная часть территории Санкт-Петербургского региона опускается со скоростью 0,1-2,0 мм в год [60].

В Предглинтовой низменности по анализу конфигурации речной сети и продольных профилей рек с различной степенью вероятности выделяются несколько участков неотектонических поднятий и опусканий поверхности, которые, по мнению нескольких авторов (Тимофеев В.М., Бурневская В.А., Чочиа Н.Г.), предопределяют наблюдаемые в пределах рассматриваемой территории явления «глиняного диапиризма».

Крупные описываемые структуры известны в нескольких местах на южном побережье Финского залива. Наиболее значительным среди них является отторженец глин сиверской свиты в 2,5 км южнее ж/д ст. Мартышкино площадью более 1 км² и мощностью от 1 до 11 м. Аналогичный отторженец меньших размеров известен в 4 км восточнее Петродворца, где значительный участок «синей» глины с нижележащим песчаником смяты в крупную складку, падающую на северо-восток под углом 60° [64].

Причины развития данных эндогенных процессов на территории Предглинтовой низменности будут более подробно описаны в пункте 2.2.2.



1 – шкала скоростей современных вертикальных движений земной коры мм/год; 2 – изолинии скоростей вертикальных движений; 3 – уровенные пункты сети нивелирования и значения скоростей вертикальных движений мм/год; 4 – линия Балтийско-Ладожского глинта

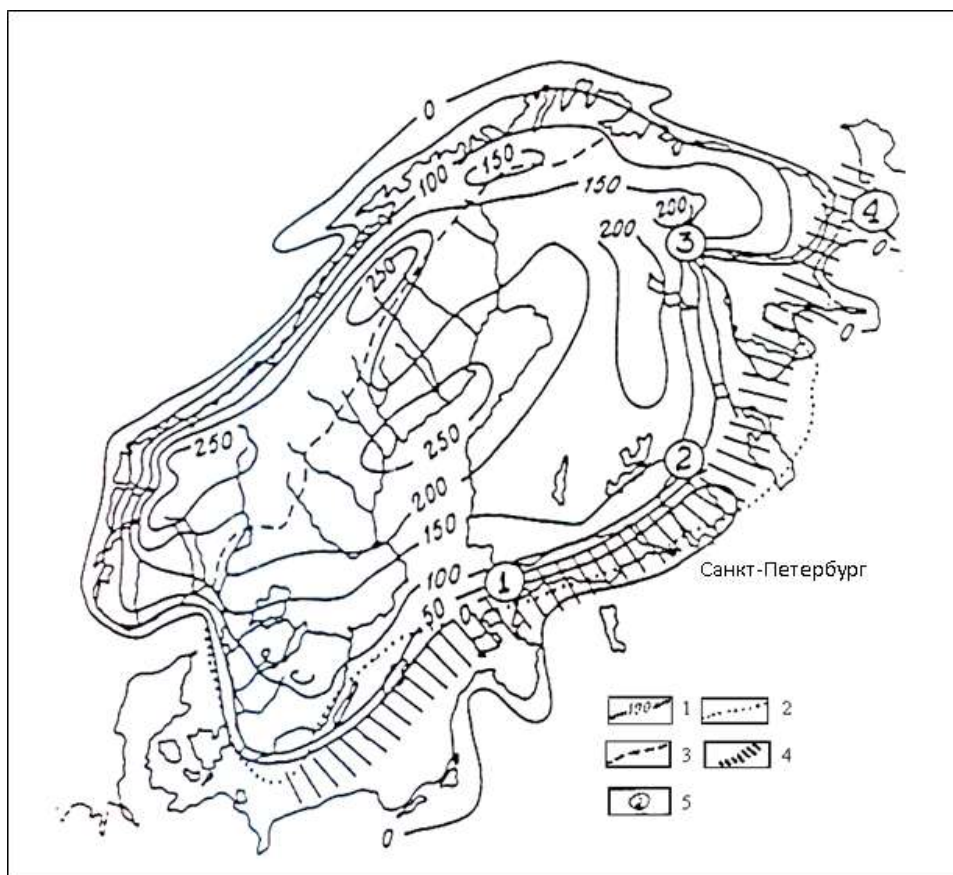
Рисунок 1.8 - Схема современных движений земной коры (по Ядуге В.А., 2000 г.)

Геодинамические условия рассматриваемой территории определяются её размещением в зоне сочленения Балтийского щита и Русской плиты (флексура Полканова), что подразумевает обоюдное влияние тектонических процессов двух крупных литосферных структур на геодинамику конкретных геологических формаций.

При оценке геодинамического состояния Санкт-Петербургского региона в целом принята модель субдукции океанической плиты под континент в связи с раскрытием Палеоатлантического океана. В процессе субдукции активировались древние зоны северо-западного простирания, что привело к формированию ортогональной системы тектонически ослабленных зон, разделяющих крупные жесткие блоки кристаллических пород. По этой модели территория сопряжения Балтийского щита и Русской плиты, в пределах которой находится рассматриваемый регион, имеет такие же геодинамические характеристики, что и сейсмически активная зона Осло – Хибины [2].

Санкт-Петербург занимает промежуточное положение между зоной Осмуссаарского землетрясения (Эстония) интенсивностью 6,5 - 7,0 баллов (1976 год) и площадью приладожских землетрясений, которые наблюдались в 1914 году и затем в 1921-23 гг. (рисунок 1.9). В начале XX века было зафиксировано

землетрясение в Лужском районе. Кроме того, некоторые летописные и другие документы свидетельствовали о слабых землетрясениях на территории, занятой городом, еще задолго до его строительства [61].



1. Изобазы суммарных сводово-блоковых и послеледниковых поднятий и опусканий
2. Граница раскрытия осадочного чехла Русской плиты
3. Граница Скандинавских гор
4. Зона Брегера-Полканова
5. Район возникновения землетрясений 6-7 баллов

① - Осмуссаарского (1976 г)

② - Приладожского (1914, 1921-1923 г)

③ - Кандакшского залива (1935-1939, 1953-1955 г)

④ - Мезенского залива (1934, 1956 г)

Рисунок 1.9 - Схема геодинамической обстановки в пределах Фенноскандии и Северо-Запада Российской Федерации

В настоящее время Санкт-Петербургский регион относится к благоприятной в сейсмическом отношении территории, которую оценивают 5 баллами по шкале MSK, ряд исследователей предлагают вводить повышение балльности до 6–7, что может быть выполнено только после проведения специальных исследований и реализации геодинамического мониторинга эндогенных процессов.

В пределах северо-запада России зарубежными сейсмостанциями было зарегистрировано несколько тысяч землетрясений магнитудой (М) в 1-4 (т.е. интенсивностью в 1-5 баллов по шкале MSK), а записи монахов Валаамского монастыря свидетельствуют о 3-4-летней ритмичности в проявлении землетрясений силой до 2-3 баллов [58]. Однако необходимо отметить, что зафиксированные землетрясения были приурочены к тектонически напряженной зоне (в пределах Балтийского щита), чем обусловлено их наличие и интенсивность.

Помимо указанных 3-4-годовых ритмов слабой сейсмичности, специалисты Геологического института Кольского филиала РАН по результатам исследований озерных отложений установили проявление в пределах северо-запада России и 2000-летних ритмов повышения сейсмической активности. В пользу наличия такого ритма свидетельствует и выявление в районе Ладожского озера геологических следов землетрясения интенсивностью в 10-11 баллов по шкале MSK [58].

Принимая во внимание, что коренные породы разреза Санкт-Петербургского региона перекрыты толщей четвертичных водонасыщенных песчано-глинистых отложений, большая часть которых относится к слабым тиксотропным, либо плавунным разностям, можно прогнозировать усиление сейсмического воздействия в верхних слоях разреза, где размещается основная часть зданий и сооружений региона. Эти условия повышают опасность последствий толчков даже при землетрясении интенсивностью в 3 балла.

Кроме того, представляется необходимой, учитывая инженерно-геологические и гидрогеологические особенности верхней части разреза рассматриваемой территории, защита среды от «наведенной сейсмичности», которая может быть вызвана интенсификацией техногенной нагрузки на подземную среду – действием вибрационных и динамических нагрузок (вибрационного эффекта транспортных средств, забивки свай, шпунтов, подземных взрывов и др.).

Несмотря на перечисленные негативные последствия проявления сейсмичности, на территории Санкт-Петербургского региона функционируют лишь две сейсмостанции, в то время как на территории скандинавских стран их более 20, а в Финляндии, сейсмическая опасность для которой сопоставима с Карелией и оценивается в 5 и более баллов, имеется 6 сейсмостанций [58].

На основании данных специальных исследований и геодинимического мониторинга эндогенных процессов может быть решен вопрос о сейсмомикрорайонировании территории Санкт-Петербургского региона, что позволит изменить общую стратегию строительства, использовать специальные технологии и применять высококачественные строительные материалы для несущих конструкций, а также принимать обоснованные решения по усилению конструкций зданий и сооружений, особенно при воздействии малоамплитудных пульсирующих нагрузок [69].

На территории Санкт-Петербургского региона согласно исследованиям Л.Г. Кабакова, Е.К. Мельникова, А.Н. Шабарова, Б.Г. Дверницкого в кристаллическом фундаменте прослеживается система сгущающихся разнонаправленных региональных и субрегиональных разломов восток северо-восточного, северо-западного и субмеридионального направлений, а также сеть более мелких разрывных нарушений, обуславливающие проявление разломной структуры типа «битой тарелки» с определенной скоростью движения отдельных блоков разных размеров (рисунок 1.10) [89].

В разрезе подземного пространства Санкт-Петербурга и его окрестностей с помощью геофизических исследований по всем зонам тектонического нарушения в вертикальном направлении зафиксировано движение блоков фундамента относительно друг друга с разной скоростью и интенсивностью в различные периоды геологического времени, в том числе и современное (четвертичное) время.

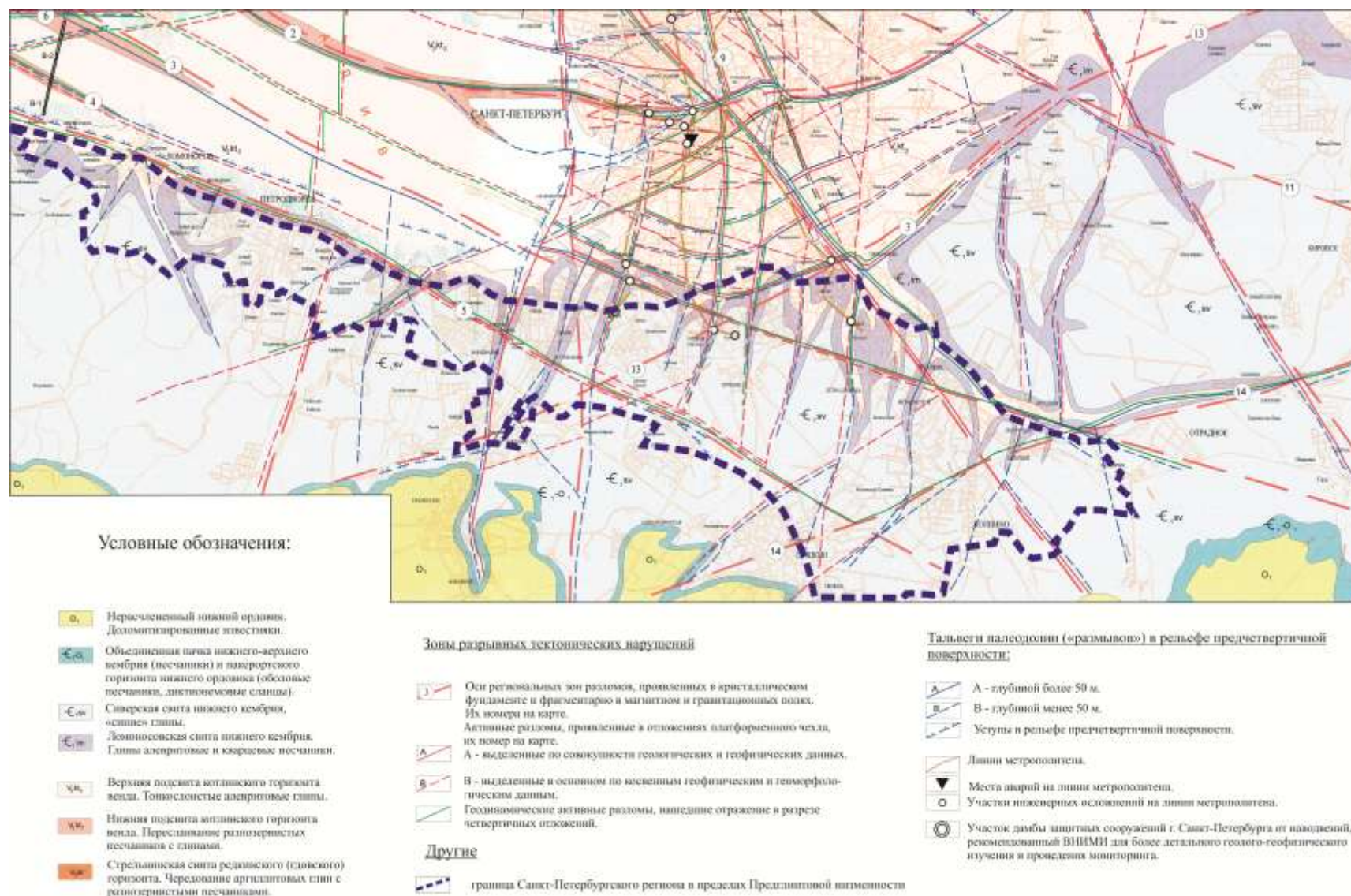


Рисунок 1.10 – Выкопировка из геолого-структурной карты. Масштаб 1:100000 (по Шабарову А.Н., Мельникову Е.К., 2004 г.)

Далеко не все разломы, выделяемые на геологических картах, являются активными. Существует несколько определений активного разлома, основанных на временной продолжительности активизации и/или направленности и величине смещений по разлому, зафиксированных инструментально методами геодезии или геофизики либо документально при сопоставлении разновременных карт, исторических материалов и т.п. Оценка возраста активизации в разных странах варьирует от 5 тыс. лет до 2 млн. лет (Кузьмин, Жуков, 2004).

Необходимо отметить, что древнейшие активные разломы возникли ранее 1,5 млрд. лет, амплитуды перемещений по ним достигали нескольких десятков метров в докембрии при первых десятках метров в фанерозое. В четвертичный период активные разломы частично определяли положение палеорусел доледниковой и межледниковой гидросети, контролируя и главнейшие элементы береговой линии Финского залива и русел современных и рек [105].

Разломы фундамента пролонгируются в породах осадочной дочетвертичной толщи. По разломам северо-восточного простирания (азимут $30-70^\circ$) фиксируются тектонические трещины, секущие толщу осадочных пород под углом $45-75^\circ$. По ним нередко отмечается смещение горизонтов песчаников и глин с малой амплитудой. Разломы северо-западного направления с азимутом преимущественно $290-320^\circ$ представляют зоны субвертикальных сближенных трещин, часто с зеркалами скольжения и приразломной мелкой складчатостью. Разломы северо-западного простирания моложе зон тектонических разломов северо-восточного направления, поскольку срезают последние.

В узлах пересечения разнонаправленных разломов отмечается дробление коренных пород, которое приводит к повышению их проницаемости и дополнительному увлажнению отложений [69].

Основной сток древних рек в пределах Санкт-Петербургского региона в поздненеогеновое-раннечетвертичное время происходил в северо-западном и западном направлении, что коррелирует с региональными системами разломов и обуславливает наличие в подземном пространстве рассматриваемого

региона погребенных речных долин. Крутизна бортов палеодолин относительно невелика, обычно в пределах $12-15^\circ$, реже 18° [1].

Палеодолины заполнены четвертичными образованиями – моренными, межморенными и озерно-ледниковыми. В области тальвегов погребенных долин кровля нижнекембрийских синих глин может прослеживаться на глубине более 40 м, вне зон палеодолин в пределах рассматриваемой территории глубина заложения кровли глин не превышает 10 м (рисунок 1.11).

Погребенные долины обычно не выражены в современном рельефе, но в южном и юго-западном районах Санкт-Петербургского региона, где палеодолины пререзают толщу нижнекембрийских синих глин, перекрытых маломощным чехлом четвертичных образований (менее 10 м), отчетливо прослеживаются понижения дневной поверхности, совпадающие по ширине и протяженности с очертаниями эрозионных врезов (районы Лигово, Колпино и др.).

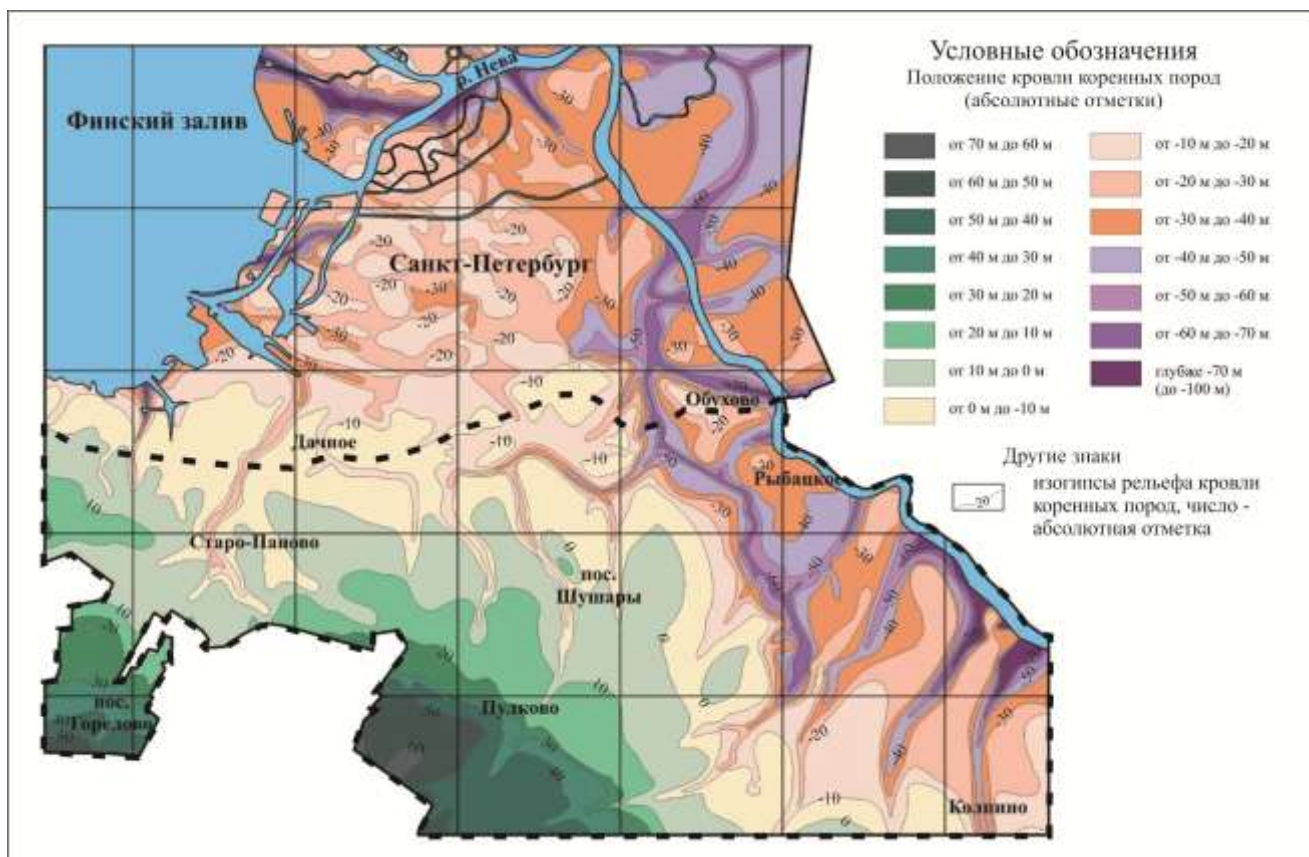


Рисунок 1.11 - Положение кровли коренных пород в пределах Предглинтовой низменности Санкт – Петербургского региона (переработанные и дополненные данные Геологического атласа Санкт-Петербурга, 2009 г.)

По данным анализа фондовых материалов, а также результатов буровых работ, проведенных в последние годы, погребенные долины в пределах Санкт-Петербургского региона могут быть схематизированы по глубине эрозионного вреза (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Систематизация погребенных долин по глубине вреза [69].

Тип долин	Глубина вреза в коренных глинах, м	Мощность четвертичных отложений, м
Глубокие	60-90	До 120
Средней глубины	30-60	До 90
С малым эрозионным врезом	Менее 30	До 40

Глубина вреза палеодолин в коренные глины имеет большое значение, поскольку она определяет остаточную мощность верхнего водоупора над ломоносовским и нижнекотлинским водоносными горизонтами. В тальвегах глубоких долин водоупор нижележащих горизонтов может практически отсутствовать. По мере уменьшения глубины эрозионного вреза палеодолин, возрастает степень защищенности водоносных горизонтов.

Погребенные долины следует также рассматривать как зоны, где возможно перетекание подземных вод ломоносовского и нижнекотлинского (гдовского) водоносных горизонтов в вышележащие горизонты – при условии высокого положения их пьезометрической поверхности, либо нисходящей фильтрации загрязненных вод из верхних горизонтов.

1.3 Анализ действующих инженерно-геологических принципов оценки литифицированных глинистых отложений на примере нижнекембрийских синих глин

Синие глины в разрезе Предглинтовой низменности рассматриваются и используются как объект многоцелевой инженерной деятельности: служат основанием для гражданских, промышленных и транспортных сооружений, средой размещения автодорожного тоннеля, а также как формация для захоронения опасных промышленных отходов. Кроме того, до недавнего времени планировалось подземное складирование радиоактивных отходов Ленинградской АЭС в синих глинах вблизи Копорья. В настоящее время в пределах исследуемой

территории в полном объеме эксплуатируется кольцевая автомобильная дорога, вступил в эксплуатацию новый международный аэропорт [30].

Территорию Предглинтовой низменности, расположенную в южной части Санкт-Петербургского региона между южным берегом Финского залива и Балтийско-Ладожским глинтом, обычно относят к зоне с благоприятными инженерно-геологическими условиями, что связано с формализованным подходом к геотехнической оценке нижнекембрийских синих глин, который базируется на предположении, что эти образования являются квазиоднородной средой с малой изменчивостью состава и физико-механических свойств как по глубине разреза, так и по площади их развития.

Согласно действующим в Санкт-Петербурге нормативным документам, таким как ТСН 31-332-2006 «Жилые и общественные высотные здания Санкт-Петербурга» и ТСН 50-302-2004 «Проектирование зданий и сооружений Санкт-Петербурга», нижнекембрийские глины рассматриваются как надежное основание и среда для сооружений различного назначения, в том числе и для тяжелых высотных зданий [18].

Однако анализ опыта строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в пределах исследуемого региона показывает, что в ряде случаев наблюдается их переход в аварийное либо предаварийное состояние в связи с некорректной инженерно-геологической оценкой нижнекембрийских глин, а также с отсутствием достоверной информации об инженерно-геологических процессах в пределах рассматриваемой низменности [31].

Прогноз взаимодействия сооружений с синими глинами тесно связан с преобразованием глин под действием напряжений, различных видов утечек и развития химических и биохимических процессов в подземной среде. Достоверность прогноза трансформации данных отложений во многом зависит от знания особенностей их формирования, которые определяют вещественный состав, состояние, физико-механические свойства и строение толщи *in situ* [30].

Как уже отмечалось ранее, формирование синих глин приходилось на максимум трансгрессии нижнекембрийского теплого мелководного моря и

приурочено к каледонскому циклу орогенеза, начавшемуся в раннем кембрии, который унаследовал от позднего докембрия характер тектонической и палеогеографической обстановки [4].

В своем развитии глинистые породы нижнего кембрия испытали несколько циклов прогрессивного и регрессивного литогенеза, что определило состояние толщи, степень дезинтегрированности глин и соответственно их физико-механические свойства, а также проницаемость [18].

Катагенетические преобразования синих глин происходили за счет комплекса следующих процессов: 1) гравитационного уплотнения осадков под действием давления перекрывающих пород; 2) действия тектонических сил в области сочленения Русской платформы с Балтийским щитом; 3) изменения термодинамических и физико-химических условий по мере погружения толщи пород на глубину и формирования цементационных связей при повышении концентраций солей поровых растворов.

Более поздние по возрасту отложения, ниже- и верхнепалеозойские, мощность которых достигала 300-350 м, создавали дополнительное давление 6-7 МПа на синие глины. Однако такие нагрузки были недостаточны, чтобы значительно уплотнить и, соответственно, дегидратировать мощную толщу глинистых отложений. По всей видимости, ведущую роль в уплотнении глин сыграли тектонические силы, активно действующие в регионе сочленения Русской платформы с Балтийским щитом.

Процессы прогрессивного катагенеза синих глин сменялись длительными периодами разгрузки и регрессивных литогенетических преобразований пород. Первый этап регрессивного литогенеза связан с периодом образования эрозионного среза пород палеозоя и Балтийско-Ладожского уступа (глинта), который по данным ряда исследователей рассматривался как результат тектонических движений в доледниковое время. Синие глины предглинтовой зоны в этот период времени испытали разуплотнение за счет разрушения и размыва вышележащих пород.

В ледниковый период глинистая толща оказалась под мощным ледниковым покровом (более 1000 м). При этом в течение всего периода оледенения уже сформировавшиеся синие глины подвергались нескольким циклам разгрузки - нагрузки, отвечающим периодам оледенения и межледниковым стадиям.

В последниковое и в настоящее время рассматриваемые отложения в Санкт-Петербургском регионе находятся на стадии регрессивного литогенеза. Синие глины залегают под маломощным чехлом четвертичных отложений различного генезиса (моренных, озерно-ледниковых и техногенных), либо выведены на дневную поверхность.

Согласно Н.М. Страхову, нижнекембрийские глины относятся к морским образованиям и выделяются в особый класс отложений - гемипелагических глин, формирование которых происходило из голубых илов в теплом климате при активном развитии органической жизни (рисунок 1.12)[91, 108]. Наличие большого количества органики определило развитие восстановительной среды, в которой протекала деятельность сульфатредуцирующих бактерий с образованием сероводорода и последующим – сульфидов железа: пирита и марказита [90].

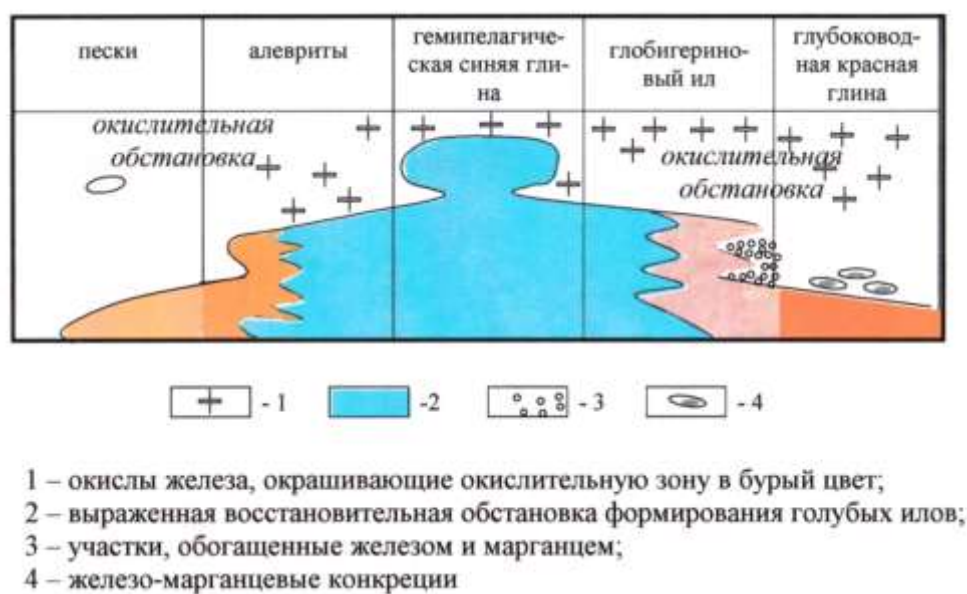


Рисунок 1.12 – Физико-химические особенности морских бассейнов накопления и формирования гемипелагических синих глин (по Н.М. Страхову)

Исходный осадок глин (голубые илы) накапливался в спокойной тектонической обстановке, о чем свидетельствуют выдержанность мощности толщи глин по площади, отсутствие складок подводного оползания и ярко

выраженной слоистости, а также сравнительная однородность минерального и гранулометрического состава глин по глубине и площади их развития [30].

По гранулометрическому составу глины классифицируются как алевритовые, реже – тяжелые алевритовые. Тонкодисперсная часть представлена гидрослюдами, глауконитом, хлоритом, реже – монтмориллонитом, тонкодисперсным пиритом (мельниковитом). В тонкодисперсной массе глин sporadически встречаются довольно крупные зерна кварца, полевого шпата, глауконита, кристаллы пирита. Тонкорассеянный пирит иногда образует на плоскостях наложения темно-бурые пленки, напоминающие по своей форме ходы червей.

Основными минералами алевритовой и глинистой фракций являются кварц, гидрослюды и полевые шпаты, количественные соотношения которых могут варьировать. В среднем минеральный состав следующий (пробы на предглинтовой полосе): кварц – 30-36%; гидрослюды – 23-29%; биотит – 13-16; мусковит – до 11%; полевые шпаты – 8-10% [2]. В существенно глинистых прослоях основными минералами являются гидрослюды (80-89%) и каолинит (10-20%). В тяжелой фракции присутствуют пирит, циркон, эпидот, рутил.

Исследование химического состава синих глин в предглинтовом регионе Ленинградской области показали заметное содержание органического вещества 0,55-1,27%, в отдельных точках отмечается повышенное количество органических остатков, достигающих 4-5%. (Морозова, 1981). При этом содержание битума может варьировать в пределах 0,5 – 1% [41].

Наличие достаточного количества органических соединений, в том числе и битумов, образующих органические пленки на тонкодисперсных зернах породы, снижает сорбционную и обменную способность глин (последняя составляет 10 - 12 мг-экв. на 100г, редко достигая 14 мг-экв. на 100г).

Одной из основных особенностей строения толщи синих глин предглинтовой зоны является трещиноватость [17, 18, 42, 83], которая формировалась за счет тектонических и нетектонических факторов,

обусловленных сложной историей геологического развития рассматриваемой территории.

По происхождению трещины в глинистых породах можно разделить на тектонические, литогенетические, гляциотектонические, трещины выветривания и морозобойного растрескивания, упругого разуплотнения (рисунок 1.13).

Активность тектонического фактора и соответственно трещинообразование в глинах тесно связана с интенсивностью проявления циклов орогенеза, а также определяется новейшими тектоническими движениями. Тектонические трещины образуют в синих глинах две системы северо-западного и северо-восточного простирания, угол между которыми составляет практически 90° . Отмечаются также трещины субширотного и субмеридионального направления. Интенсивность тектонической трещиноватости в толще синих глин зависит от её положения по отношению к тектоническим разломам и их узлам (см рисунок 1.10).

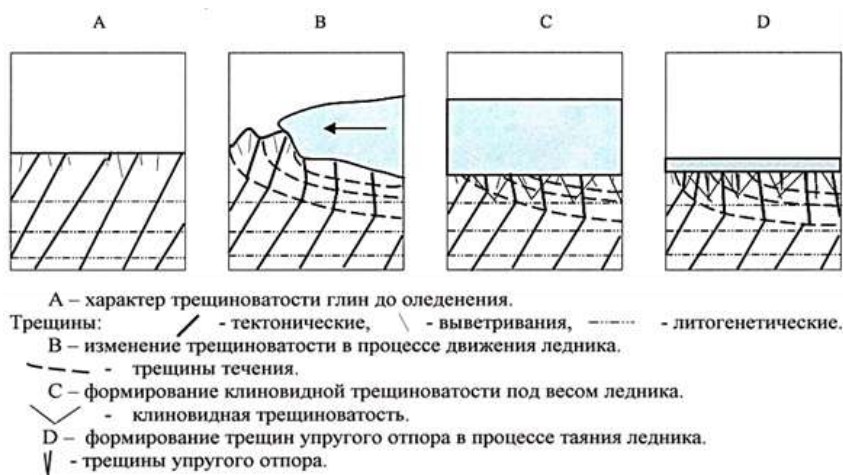


Рисунок 1.13 – Формирование трещиноватости в синих глинах [41]

Регулирующую роль при формировании трещиноватого массива глин выполняют литогенетические трещины, разделяющие толщу на отдельные слои, но не определяющие изменение направления тектонических трещин. Мощность слоев между отдельными горизонтальными трещинами увеличивается от кровли к подошве кембрийских глин.

Система субгоризонтальных литогенетических и тектонических трещин формирует блочное строение толщи синих глин [21]. Размер блока при этом

зависит от положения разреза по отношению к разлому, а также наличия слоистости пород.

Образование нетектонической трещиноватости, характерной для верхней зоны разреза синих глин (до глубины 15-20 м), связано с континентальным периодом развития рассматриваемой территории, начиная с позднего палеозоя и до раннечетвертичного времени, когда отложения коренных глин нижнего кембрия претерпели несколько стадий прогрессивного и регрессивного литогенеза.

В период материковых оледенений и межледникового времени регион подвергался периодическому нагружению - разгрузке, что способствовало развитию трещиноватости за счет морозобойного растрескивания пород, упругого отпора, гляциотектоники. Причем под действием гляциотектонических сил образовались клиновидные трещины, которые отчетливо прослеживаются в толще синих глин до глубины 25 м.

Исследования показали, что гляциотектонические трещины образуют три системы трещин, одна из которых имеет простирание по направлению движения ледника, а две другие - перпендикулярно ей.

В зонах тектонических нарушений за счет повышения интенсивности проявления нетектонической трещиноватости, отмечаются наиболее глубокие зоны выветривания и разуплотнения глинистой толщи.

Образование трещин в литифицированных глинах необходимо анализировать согласно упруго-пластической модели формирования трещин Дж. Р. Ирвина и Е.О. Орована. Данная модель учитывает пластическую составляющую формирования трещин. При хрупкопластическом характере деформирования среды пластическая деформация приурочена к тонкому слою вблизи поверхности трещины [51].

В классической механике сплошных сред рассматривается однородная, упругая и изотропная деформируемая среда. При этом не учитывается структура объекта, с которой связан механизм деформации и разрушения ряда твердых тел,

что исключает возможность описания физического процесса деформирования и разрушения материала.

Классические теории механики сплошных сред имеют ограниченное использование при изучении формирования трещиноватости горных пород, что свидетельствует о необходимости дальнейшего развития и доработки подобных теорий для трактовки механизма образования трещин.

Основываясь на показателях физических свойств (естественной влажности, плотности, пористости и консистенции), полученных ещё в 20 веке, было принято считать, что нижнекембрийские глины обладают повышенной уплотненностью и являются квазиоднородными по составу и свойствам как по глубине разреза, так и по площади их распространения [57].

Господствующая до недавнего времени идея об однородности и монотонности синих глин в разрезе также во многом базировалась на исследованиях их гранулометрического состава, поскольку подразумевалось, что стабильность гранулометрического состава предполагает малую изменчивость физико-механических свойств пород в разрезе при постоянстве их физического состояния.

Как уже отмечалось ранее, синие глины классифицируются как глины алевритовые (пылеватые), реже глины тяжелые алевритовые, отмечается достаточно высокая степень агрегированности частиц $d < 0,01$ мм (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Данные по исследованию гранулометрического состава и степени агрегированности нижнекембрийских синих глин [109]

Глубина, м	Содержание фракций %					Примечание
	>0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	0,002-0,001	<0,001	
1,5-10,0	$\frac{0-2}{1}$	$\frac{24-33}{32}$	$\frac{7-15}{8}$	$\frac{20-25}{23}$	$\frac{30-48}{36}$	Определение грансостава с диспергатором
Глубже 10,5	$\frac{0-1}{\text{сл}}$	$\frac{22-32}{30}$	$\frac{5-12}{7}$	$\frac{19-26}{25}$	$\frac{28-48}{38}$	
1,5-10,0	0-40	$\frac{3-36}{26}$	$\frac{19-60}{33}$	$\frac{10-22}{12}$	$\frac{26-33}{31}$	Без диспергатора
Глубже 10,5	0	$\frac{13-41}{27}$	$\frac{22-35}{30}$	$\frac{7-14}{10}$	$\frac{18-43}{33}$	

(Примечание: в числителе – минимальное-максимальное значения, в знаменателе среднее, число проб более 30)

Особенностью гранулометрического состава этих отложений является соотношение содержания фракции $d=0,002-0,001$ мм и менее $0,001$ мм. Как правило, среднее содержание глинистых частиц $d < 0,001$ мм в 2,5-3,0 раза выше количества глинистых частиц $d=0,002-0,001$ мм (см. таблицу 1.2). Эти данные свидетельствуют о невысокой прочности кристаллической решетки глинистых минералов в процессе их образования и выветривания. Гранулометрический состав по всей глубине толщи достаточно стабилен.

Однако, исследования состояния и свойств синих глин по глубине разреза, выполненные проф. Р.Э. Дашко в 80-х годах прошлого века, показали, что нижнекембрийские глины предглинтового региона следует оценивать как трещиновато-блочную среду (рисунок 1.14), имеющую вне зон тектонических разломов зональное строение по глубине [34].



Рисунок 1.14 – Нижнекембрийские синие глины как трещиновато-блочная среда

По варьированию плотности и влажности синих глин можно оценить ту глубину, в пределах которой наблюдалась их дополнительная гидратация (таблица 1.3). Наибольшее значение влажности характерно для первых десяти метров разреза глин. Ниже этой глубины влажность пород постепенно уменьшается, с глубин 17-20 м она изменяется в узком пределе – 15-18 %. Относительно высокая естественная влажность в интервале глубин 0–20 м

объясняется набуханием глинистых пород при их дополнительном увлажнении за счет снятия внешнего давления, ниже указанной глубины влияние дополнительной гидратации этих глин не проявляется, поскольку их давление набухания редко превосходит 0,35 МПа. Следовательно, ниже глубины 20 м влажность и плотность синих глин должны характеризовать их естественное физическое состояние. Малая влажность и высокая плотность этих отложений позволяет отнести нижнекембрийские синие глины ниже глубины 20 м к высоколитифицированным разностям.

Таблица 1.3 – Изменение параметров влажности и плотности синих глин по глубине [16, 24]

Выделяемые зоны	№ слоев	Глубина от кровли глин, м.	Диапазон изменения величины	
			Влажности, %	Плотности, г/см ³
I Переменной влажности и плотности	1	0-3	23-28*	1,97-2,08
			25-32**	1,96-2,04
	2	3-10	21-25	2,10-2,22
			22-29	1,98-2,08
	3	10-20	17-21	2,20-2,23
			19-26	2,00-2,20
II Квазипостоянной влажности и плотности	4	20-30	16-20	2,20-2,25
			18-24	2,02-2,21
	5	30-40	16-19	2,18-2,23
			17-23	2,02-2,21
	6	>40	15-18	2,18-2,23
			17-23	2,02-2,21

Примечание: * варьирование значения параметра вне зон тектонических разломов, ** - в зонах тектонических разломов.

Таким образом, по характеру изменения величин влажности и плотности можно выделить две зоны: до глубины 20 м – зона переменной влажности-плотности, ниже – зона постоянной влажности-плотности.

Зональное строение толщи коренных трещиноватых глин может быть охарактеризовано не только изменением параметров физических свойств, но и изменением степени их трещиноватости по глубине, а также варьированием параметров физико-механических и водных свойств.

Формирование трещиноватости связано, как уже указывалось выше, с действием различных природных факторов. Интенсивность трещиноватости убывает по глубине, что приводит к возрастанию размеров блоков (рисунок 1.15). Важно отметить, что в зонах тектонических разломов интенсивность

трещиноватости глин максимальна на всю глубину разреза и часто нарушается зональное строение толщи.

Влияние трещиноватости на прочность синих глин проявляется в значительном снижении величины сцепления, в меньшей степени трещиноватость влияет на угол внутреннего трения. Величина последнего параметра (ϕ) в основном зависит от гранулометрического и минерального состава, степени агрегированности, плотности и влажности. Как правило, подход к оценке прочности рассматриваемых глин обычно базируется на результатах лабораторных исследований образцов породы, отобранных из скважин, что приводит к завышению параметров сопротивления сдвигу и, следовательно, к некорректным выводам о длительной устойчивости и эксплуатационной надежности сооружений различного назначения.

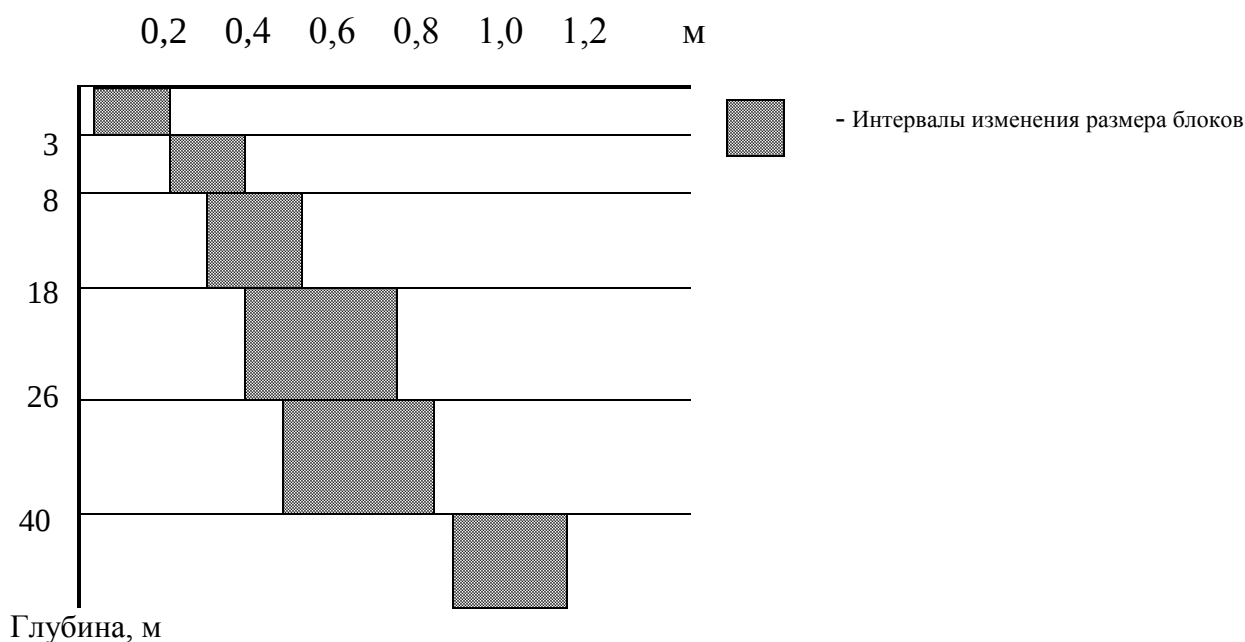


Рисунок 1.15 - Изменение размеров блоков с глубиной [38]

В верхней части разреза толщи синих глин, рассматриваемой как зона гидратации и разуплотнения (до глубины 17 - 20 м), основное влияние на показатели механических свойств глин оказывают макро- и микротрещиноватость, степень их гидратации, плотность, нарушенность структурных связей в отдельных блоках. В нижней части разреза толщи, где породы характеризуются относительным постоянством физического состояния,

решающее значение при оценке прочности приобретает микро- и макротрещиноватость [30].

При анализе и оценке прочности литифицированных глинистых пород заметную роль играет микротрещиноватость, которая часто не фиксируется визуально, но влияет на результаты трехосных испытаний коренных глин при возможности их бокового распора. Влияние выражается в наличии масштабного эффекта, о чем свидетельствуют результаты испытаний образцов различного размера (объема) при одинаковом отношении их высоты к диаметру (рисунок 1.16). Вполне понятно, что наиболее интенсивно масштабный эффект проявляется в образцах глин, отобранных из зон тектонических нарушений.

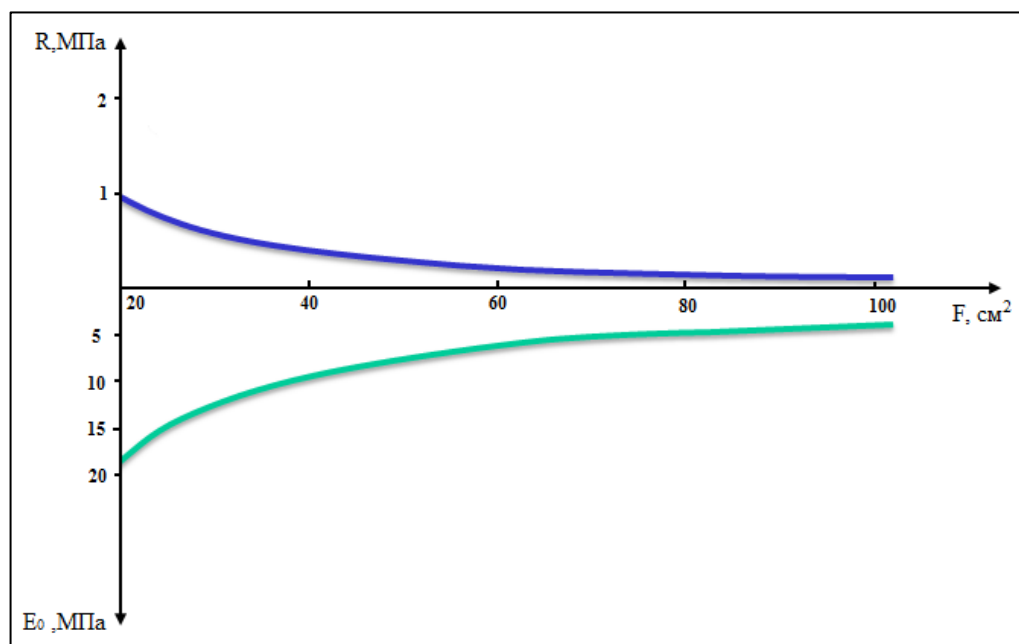


Рисунок 1.16 – Влияние масштабного эффекта на прочность и деформационную способность синих глин (глубина отбора 3-10 м)

Согласно исследованиям, проведенным на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии, прочность на одноосное сжатие зависит от объема испытуемого образца, при увеличении объема в 8 раз его прочность уменьшается в 7 раз. Следует отметить, что наибольшее влияние трещиноватость оказывает на величину модуля общей деформации, в зонах разломов величина данного показателя изменяется по глубине незакономерно и характеризуется следующим разбросом значений – от 1,5 до 10,5 МПа и более, что свидетельствует о высокой степени дезинтеграции толщи [18].

Важно отметить, что при оценке прочности трещиноватого массива коренных глин для снижения параметра сцепления массива, при невозможности выполнения полевых испытаний большого масштаба, необходимо вводить коэффициент структурного ослабления (λ) [38]:

$$\dots\dots\dots C_T = \lambda C_{\text{обр}}, \dots\dots\dots (1.1)$$

где C_T – сцепление трещиноватой глинистой толщи, $C_{\text{обр}}$ – сцепление в образце. Для уплотненных глинистых отложений величина λ изменяется от 0,3 до 0,7.

Изменение величины модуля общей деформации от трещиноватости изучал К.В. Руппенейт. Для оценки модуля общей деформации трещиноватых пород также можно использовать выведенную им формулу:

$$E_0^{\text{тр}} = \frac{E_0^{\text{обр}}}{(1 + \sum_{i=1}^n \eta_i (1 - \sin^4 \theta_i))}, \quad (1.2)$$

где n – число систем трещин; $E_0^{\text{тр}}$ $E_0^{\text{обр}}$ – модуль общей деформации трещиноватого массива и в образце соответственно; θ_i – среднее значение угла между трещинами i -й системы и вертикальной осью; η_i – геометрическая характеристика трещин i -й системы, определяемая по формуле $\eta_i = \delta_i / \zeta_i l_i$, где δ_i , ζ_i , l_i – средние значения ширины раскрытия трещин, размер блока породы и площади контактов по трещинам соответственно для i -й системы трещин.

При оценке устойчивости сооружений на трещиноватых глинистых отложениях необходимо использовать параметры прочности и деформационной способности, полученные при полевых исследованиях. При отсутствии таких данных необходимо вводить понижающие коэффициенты с учетом масштабного эффекта в параметры механических свойств (сцепление, модуль общей деформации), а также пользоваться специально выведенными для учета трещиноватости формулами.

Экспериментальные исследования последних лет показали, что для описания картины напряженного состояния трещиноватого основания, как правило, нельзя пользоваться уравнениями теории упругости, выведенными для условий однородной и изотропной среды. Картины распределения напряжений в

слоистой или блочной среде имеет не только количественное, но и принципиальное качественное отличие. Основными определяющими параметрами распределения напряжений являются: ориентация систем трещин; геометрия блоков, слагающих массив, и их взаимное расположение, обуславливающее структуру этого массива; характеристики контактных поверхностей; сопротивление сдвигу по контактным поверхностям; деформативность и прочность материала блоков; характер передаваемой на основание нагрузки; число отдельных блоков в пределах опорной площади сооружения.

Профессор Р. Гудман на основе формул, полученных Дж. Бреем, приняв массив в виде эквивалентной анизотропной среды, рассчитал линии равных радиальных напряжений под действием распределенной нагрузки (на моделях ленточного фундамента), образующей угол с напластованием (рисунок 1.17).

а – ленточный фундамент; б – сосредоточенная нагрузка (задача Буссинеска)

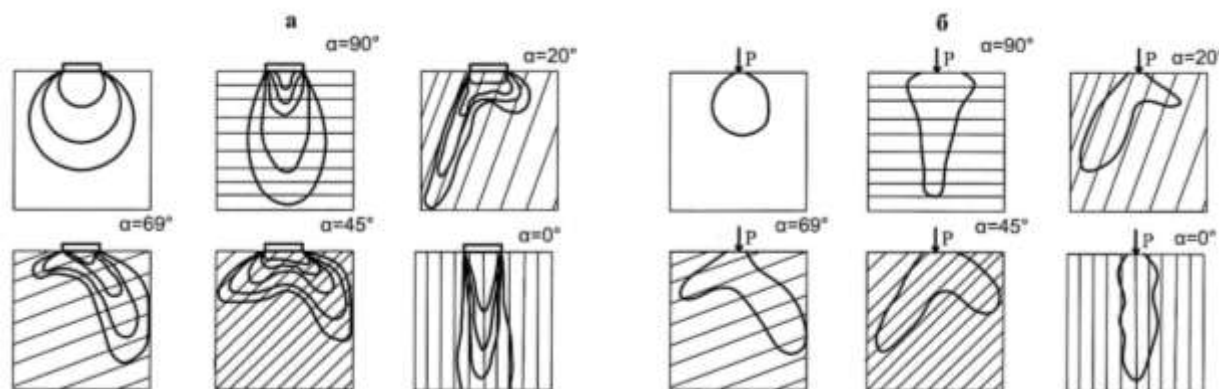


Рисунок 1.17 - Изобары сжимающих напряжений σ_z , полученные на моделях (а) и расчетом (б), α - угол наклона трещин либо слоев относительно вертикали (по Гудману) [14].

Если мощность вышележащих четвертичных отложений меньше глубины заложения фундамента, а активная зона сооружения полностью располагается в нижнекембрийских глинах, то трещиноватость и слоистость коренных глинистых пород предопределяет асимметричность распределения сжимающих напряжений (σ_z) в толще основания, что обуславливает неравномерность развития деформаций (осадок) в породах основания сооружения.

Наличие дезинтегрированности также играет важную роль при оценке величины и характера проницаемости коренных глин. Существование масштабного эффекта при изучении водопроницаемости трещиноватых лессовых отложений в полевых условиях на выделенных участках разных размеров отмечалось ещё В.М. Шестаковым.

В настоящее время нижнекембрийские глины в практике строительства и эксплуатации наземных и подземных сооружений в пределах Предглинтовой низменности рассматриваются как региональный водоупор для ломоносовского водоносного горизонта. Эта точка зрения базируется на представлениях о глинах как о типичной тонкопористой среде, с полученным в лабораторных условиях коэффициентом фильтрации $10^{-7} - 10^{-5}$ м/сут (данные ВНИМИ). Однако с учетом трещиноватости этот показатель в толще глин возрастает на 2-3 порядка и более (до $10^{-2} - 10^{-1}$ м/сут) [30, 31].

Анализируя геоэкологические особенности коренных глин нижнего кембрия необходимо отметить их относительно низкую сорбционную и обменную способность, а также относительно высокую проницаемость.

Как показывает опыт наблюдений и экспериментальных исследований, существенные изменения состояния и свойств нижнекембрийских синих глин происходят под воздействием ряда природных (развитие экзогенных и эндогенных процессов) и техногенных факторов (складирование отходов, в том числе хозяйственно-бытовых, утечки канализационных стоков), влияние которых будет более подробно рассмотрено в главе 2 и 3.

В свете вышеизложенного, следует пересмотреть принципиальные подходы к оценке коренных глинистых пород нижнего кембрия, которые существуют в настоящее время в практике инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических исследований.

1.4 Значение четвертичных отложений при оценке инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности

Отложения четвертичного возраста на рассматриваемой территории имеют практически сплошное распространение, залегая на неровной эрозионной и

эродированной поверхности дочетвертичных пород (рисунок 1.18). Они отсутствуют лишь на обрывистых склонах отдельных участков долин рек Кузьминки, Волковки и кое-где локально-пятнистые выходы палеозойских пород на поверхность фиксируются в карьерных разработках полезных ископаемых и на склонах глинта (р-н г. Ломоносова, Петродворца, Никольского, Красный Бор).

Геолого-литологические особенности толщи четвертичных отложений, предопределяющие специфику инженерно-геологической, гидрогеологической и геоэкологической обстановки в подземной среде рассматриваемой территории, показаны на разрезе (рисунок 1.19).

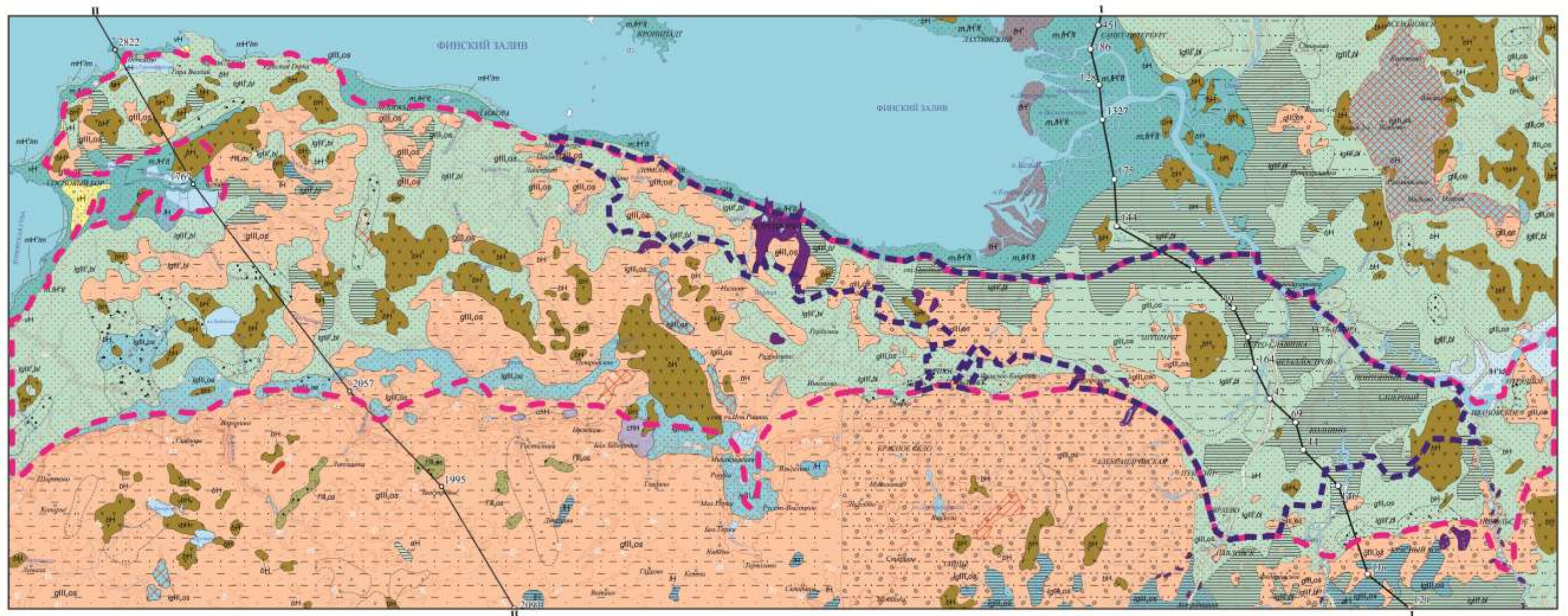
Описываемая территория в течение всего четвертичного периода находилась в области деятельности материковых оледенений. Ее положение в непосредственной близости от Скандинавского центра оледенений, характер поверхности и состав дочетвертичных пород предопределили роль экзарационных процессов в динамике деятельности ледников нижнего и среднего неоплейстоцена.

В генетическом отношении в описываемом регионе преобладают отложения ледникового ряда: моренные и водно-ледниковые; из водной группы наиболее широко распространены озерные; в голоценовых образованиях – биогенные (болотные).

Мощности антропогеновой толщи распространены по площади весьма неравномерно и зависят от особенностей динамики ледниковых покровов, условий их формирования и рельефа подстилающей поверхности дочетвертичного субстрата [64].

Минимальная мощность четвертичной толщи характерная как для Предглинтовой низменности, так и для Ордовикского плато составляет не более 5-10 м, местами лишь 0-2 м.

Наибольшая мощность четвертичных отложений более 80 м на рассматриваемой территории приурочена к погребенным доледниковым древним долинам в северо-восточной части рассматриваемого региона (Обухово, Рыбацкое, г. Колпино).



Условные обозначения

Литологические обозначения

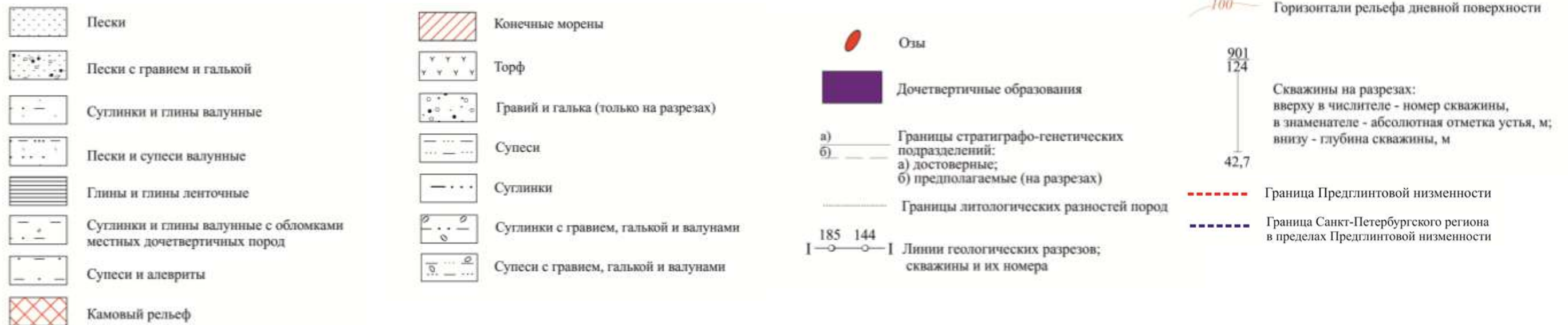


Рисунок 1.18 - Выкопировка из геологической карты четвертичных отложений (Листы О-36-I и О-35-VI). Масштаб 1:200 000

Надраздел	Раздел	Звено	Степень	Условные обозначения	СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ		
Голоцен							
					аН	Аллювиальные отложения. Пески разнозернистые, супеси (до 6 м)	
					лН	Озёрные отложения. Глины суглинки (до 6 м)	
					сН	Хемогенные отложения. Гажа, известковый туф (до 12 м)	
					vН	Эоловые отложения. Пески (2,0 - 7,0 м)	
					бН	Биогенные (болотные) отложения. Торф (до 10 м)	
					Верхняя	лН'	Техногенные образования. Намывные и насыпные грунты. Пески (до 7 м)
						лН'ld	Озёрные образования ладожской трансгрессии. Пески (до 6 м)
						лН'lm	Морские (лимниевые) отложения. Пески, супеси (до 7 м)
					Средняя	лН'lt	Морские (литориновые) отложения. Суглинки, супеси, пески (до 5 м)
Плейстоцен	Неоплейстоцен		Четвёртая				
					лгllf,bl	Озёрно-ледниковые отложения Балтийского ледникового озера. Пески, пески с гравием и галькой, супеси, суглинки, глины ленточные (до 20 м)	
					лil,os	Флювиогляциальные отложения. Пески с гравием и галькой (до 20 м)	
					лгlll,os	Озёрно-ледниковые (лужские) отложения. Пески, пески с гравием и галькой, супеси, суглинки, глины и глины ленточные (до 14 м)	
					глil,os	Ледниковые отложения. Суглинки и супеси с гравием, галькой и валунами (до 80 м, включая отторженцы дочетвертичных образований)	
					Валдайский надгоризонт Осташковский горизонт	l lll,ln	Ленинградский горизонт. Озёрные отложения. Пески, супеси, прослой торфа (до 18 м)
						лilil,mg	Микулинский горизонт. Мгинская свита. Морские образования. Глины, суглинки, редко супеси и пески (до 37,6 м)
						Среднеуральский надгоризонт Московский горизонт	лгllms
					лгllms		Озёрно-ледниковые, флювиогляциальные отложения объединённые. Пески с гравием, супеси, суглинки, ленточные глины (до 40 м)
					глilms		Ледниковые отложения. Суглинки, супеси с гравием, галькой и валунами (более 50 м)
лilvl	Вологодский горизонт. Флювиогляциальные образования (в древних долинах). Разнозернистые пески, пески с гравием и галькой (до 30-70 м)						

только на разрезах

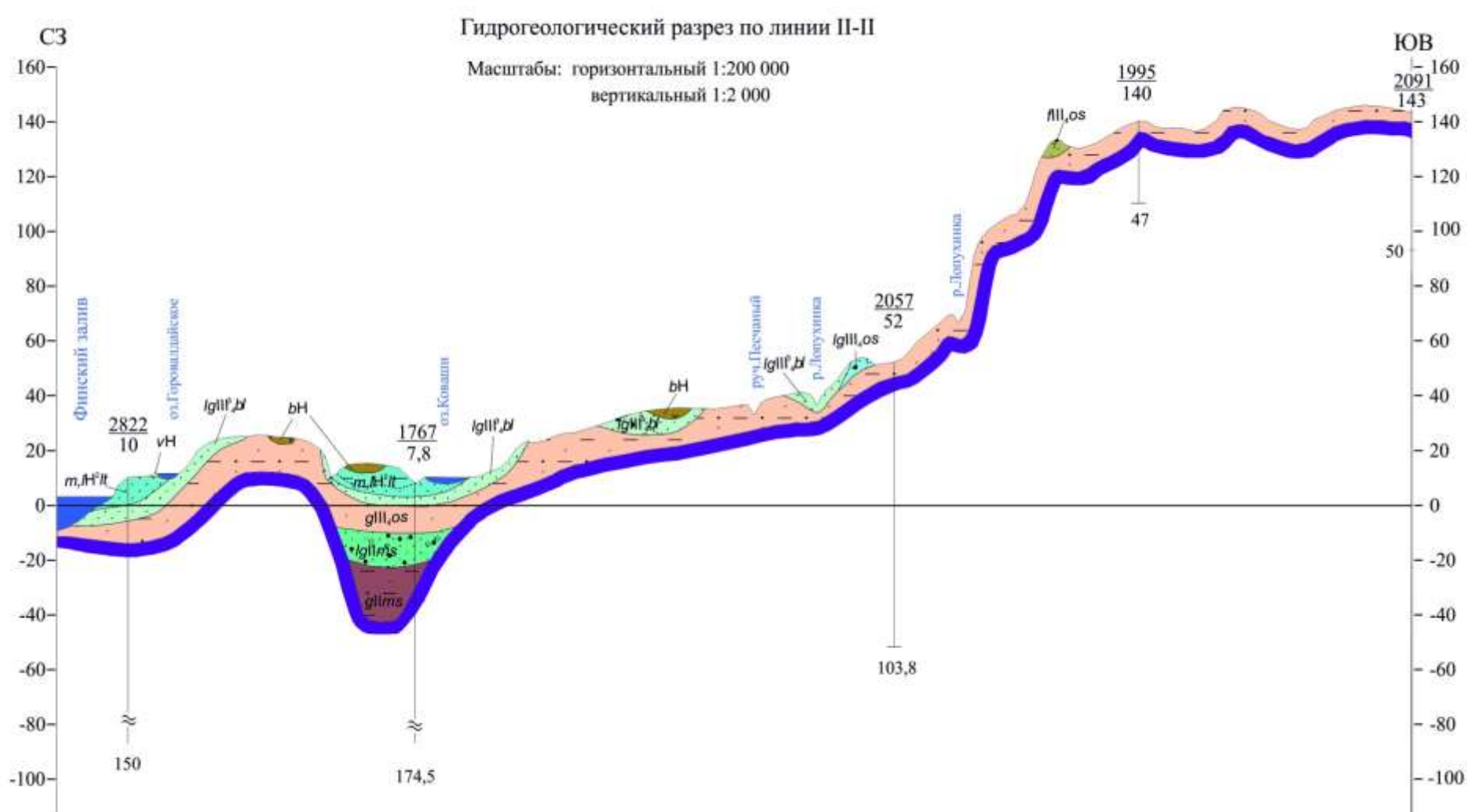
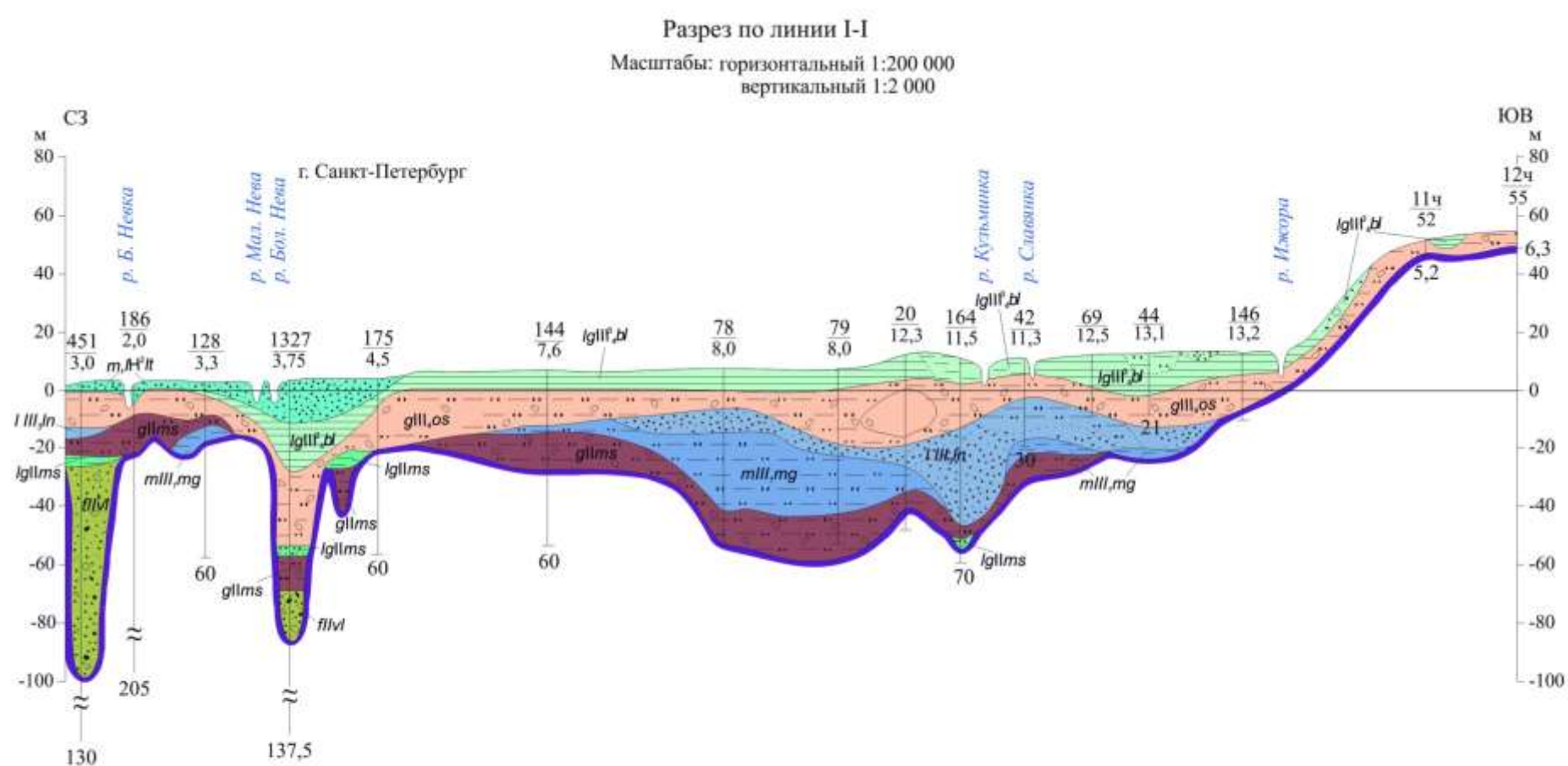


Рисунок 1.19 - Геолого-литологический и гидрогеологические разрезы по профилям I – I и II – II.

Присутствие палеодолин в подземном рельефе кровли коренных пород во многом определяет специфичность разреза четвертичной толщи, помимо увеличения ее мощности, меняется, соответственно, и количество литолого-генетических типов песчано-глинистых пород, предопределяющих особенности их использования в качестве основания наземных сооружений или среды размещения подземных коммуникаций.

Немаловажным фактором при исследовании геологической среды Санкт-Петербургского региона и освоении его подземного пространства в пределах четвертичной толщи является также длительность и характер контаминации территории.

Рассматриваемая территория располагается в области последнего валдайского оледенения, и в поверхностной части четвертичного покрова повсеместно распространены лишь отложения основных заключительных его стадий (осташковского горизонта), а также современные. Несмотря на повсеместное развитие четвертичных пород, хорошие естественные обнажения их отсутствуют и основным источником сведений о геологическом строении четвертичной толщи являются разрезы многочисленных скважин.

На геологической карте четвертичных отложений (рисунок 1.18) отражен литологический состав поверхностного слоя различных по возрасту и генезису отложений. Слои, залегающие ниже, показаны на геологических разрезах (рисунок 1.19).

В западной и юго-западной части рассматриваемого региона на водоразделах и небольших понижениях четвертичного рельефа большинством буровых скважин вскрыта одна толща морены, залегающая, в основном, на породах дочетвертичного возраста, а в пределах древних долин и впадин дочетвертичного рельефа преимущественно в восточной и северо-восточной части встречены два горизонта морены московская и осташковская (лужская).

Важно отметить, что вся толща четвертичных отложений в пределах Санкт-Петербургского региона должна рассматриваться как неустойчивая, обладающая способностью к развитию пластических деформаций.

Исследуемая территория Предглинтовой низменности характеризуется следующей последовательностью залегания четвертичных отложений.

Плейстоцен. Неоплейстоцен.

Среднее звено

Среднерусский надгоризонт

Московский горизонт

Отложения, связанные с московским оледенением, представлены мореной, флювиогляциальными и озерно-ледниковыми образованиями.

Ледниковые отложения ($gIms$) в Предглинтовой низменности приурочены к древним долинам. Они залегают на дочетвертичных породах и перекрываются морскими отложениями микулинского горизонта. Мощность морены колеблется в широких пределах от 1 м до 45 м. Глубина залегания кровли варьирует от 14 до 55 м (древние долины на территории города).

Морена представлена зеленовато-серыми суглинками, реже супесями с включением гравия, гальки и валунов кристаллических пород, с включением глыб синих глин и обломков кембрийского серого кварцевого песчаника. Состояние, прочность и деформационная способность морены во многом зависят от условий их образования, глубины залегания, степени загрязнения, активности развития микробной деятельности. Консистенция моренных отложений, несмотря на высокую плотность сложения, может варьировать в широких пределах от твердой до текучей.

Флювиогляциальные отложения ($fIms^3$) распространены сравнительно широко в тех же районах, что и московская морена. Подстилаются флювиогляциальные отложения, как правило, московской мореной, в местах размыва в древних долинах на водно-ледниковых образованиях вологодского возраста.

Чаще всего флювиогляциальные образования перекрываются московскими озерно-ледниковыми отложениями и осташковской мореной, и единично мгинскими морскими глинами. Глубина его залегания варьирует от 13 м до 62 м в районе Петро-Славянки, а абсолютные отметки кровли изменяются от – 6 м до –

58 м. Обычные мощности не превышают 10-15 м, и максимальные до 40 м. В составе отложений преобладают пески различной зернистости, песчано-гравийная смесь крупнообломочных фракций, линзы и прослои гравийно-галечного материала. Могут содержать напорные воды.

Озерно-ледниковые отложения ($lgIIms^3$) выделены на юго-западе г. Петродворец [107]. Мощность озерно-ледниковых отложений составляет 3,5 м, залегают на глубине 33,5 м. Эти отложения залегают на московской морене и перекрыты мореной осташковского горизонта. Представлены отложения мелко- и тонкозернистыми песками, супесями и глинами ленточного типа. Часто глины переслаиваются с мелкозернистыми слабоглинистыми песками. Среди этих отложений распространены «ложные» и истинные плавунны.

Верхнее звено.

Микулинский горизонт

Мгинская свита

Морские отложения мгинской свиты ($mIII_1mg$) распространены в Предглинтовой низменности и приурочены к древним погребенным долинам в северо-восточной её части (Колпино, Рыбацкое). Наиболее широкое распространение морские отложения имеют в бассейнах рек Славянки и Ижоры. Отложения мощностью от 2,0 до 18,8 м залегают на глубине от 1,5 до 50,0 м, между двумя моренами московского и осташковского горизонтов.

Представлен горизонт серыми, тёмно-серым и зеленовато-серым суглинком пылеватым, с единичным включением гальки кристаллических пород и часто с хорошо сохранившимися органическими остатками, мелкозернистым песком и слоистой супесью с включением гравия и валунов кристаллических пород. В очень редких случаях помимо глин и суглинков в мгинской толще присутствуют серые и зеленовато-серые, плотные, тонкослоистые супеси (в бассейнах рек Славянки и Ижоры).

Межморенные микулинские слои заслуживают особого внимания при оценке геоэкологической безопасности освоения подземного пространства. Высокое содержание битуминозной органики в микулинских слоях (до 20%)

предопределяет активность протекающих в них биохимических процессов за счет жизнедеятельности богатой природной микрофлоры, с чем связана способностью продуцировать биохимические газы – метан, азот, углекислый газ и др. При бурении скважин, а также проходке выработок в ряде случаев происходят газогрязевые выбросы с самовозгоранием. Газогенерация в микулинских глинистых отложениях предполагает влияние газов на напряженное состояние четвертичной толщи во времени в зависимости от газодинамического давления, а также рост агрессивности подземных вод по отношению к конструкционным материалам [33].

Валдайский надгоризонт

Подпорожский горизонт

Озерные и озерно-ледниковые отложения ($l, lgIII_2pd$) распространены в Предглинтовой низменности на водоразделе между р. Саблинка и р. Тосна, на территории южных районов города отложения не встречены.

Ленинградский горизонт

Озерные отложения (III_3ln) имеют значительное площадное развитие в районе Колпино – Ижорский завод, по рекам Славянка и Малая Ижорка.

Глубина залегания кровли озерной толщи варьирует от 8 до 36 м. Ленинградские слои в целом залегают выше мгинских морских отложений, но местами врезаются в них или ложатся непосредственно на ленточные глины и морену московского горизонта. Покрываются озерные отложения в большинстве разрезов мореной осташковского горизонта. Мощности озерной толщи меняется от 5,4 до 18,0 м.

Озерные отложения чаще всего сложены тонкими пылеватыми песками, алевроитами и супесями, и торфом. Гораздо реже в составе озерных слоев встречаются суглинки, глины. Эти отложения, также как и озерно-ледниковые отложения московского оледенения могут проявлять плавунные и тиксотропные свойства.

Осташковский горизонт

Отложения ледникового комплекса осташковского горизонта покрывают практически всю территорию рассматриваемого района, составляя основную верхнюю часть разреза четвертичного покрова. К этим отложениям относятся ледниковые, флювиогляциальные надморенные и озёрно-ледниковые образования.

Ледниковые отложения (gIIIos) распространены практически повсеместно на всей исследованной территории, слагая первый от поверхности и основной моренный горизонт. Отсутствуют они лишь в достаточно редких участках размыва («окна» в морене).

В Предглинтовой низменности под моренами прослеживаются кембрийские и верхнекотлинские глины. В местах распространения древних долин осташковская морена подстилается отложениями московского, микулинского, подпорожского и ленинградского горизонтов.

В Предглинтовой низменности (в зоне размыва надморенных водно-ледниковых отложений) на морене залегает толща озерно-ледниковых отложений Балтийского ледникового озера.

Глубина кровли морены на площадях, где она погребена водными и биогенными отложениями, колеблется от 0,5 до 50 м. Абсолютные отметки кровли морены опускаются от 110 до –22 м. Мощность морены подвержена существенным колебаниям от 0,2 м в местах размыва до 30-50 м, в среднем составляя около 25 м. Минимальные мощности в 1-5 м присущи отдельным участкам Предглинтовой низменности. Максимальные мощности, достигающие 90-110 м, характерны для Дудергофских высот.

На описываемой территории можно выделить несколько отличных друг от друга литологических разностей морены, что находится в прямой зависимости от состава подстилающих её коренных пород.

В пределах Предглинтовой низменности развиты песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые разности морены, но преобладают суглинистые. Морена содержит различное количество слабоокатанных включений гравия, гальки и валунов кристаллических пород.

Морена, залегающая на отложениях четвертичного возраста, обычно серого цвета и обогащена материалом подстилающих пород. Часто наблюдаются линзы песков, гравия или гальки мощностью до 4 м.

Согласно существующей точке зрения в инженерно-геологической практике моренные суглинки и супеси традиционно считаются наиболее плотными и прочными образованиями, которые рассматриваются как надежное основание и рекомендуется их использование в качестве несущего слоя под свайные фундаменты. Они характеризуются неоднородным гранулометрическим составом, высокой плотностью, относительно невысокой влажностью, которая обычно коррелируется с содержанием глинистой фракции, и устойчивой консистенцией. Для таких типов отложений по нормативным документам рекомендуются высокие параметры прочности и деформационной способности вне зависимости от состояния пород.

Практика строительства и эксплуатации зданий и сооружений в Санкт-Петербургском регионе свидетельствует о том, что реальные осадки зданий при использовании моренных отложений в качестве основания могут значительно превосходить допускаемые и расчетные значения. Основными причинами таких ошибок являются недооценка особенностей формирования моренных отложений в пределах Санкт-Петербургского региона, а также экологическая ситуация, связанная с длительной контаминацией подземной среды города [69].

Выполненный анализ условий формирования и техногенеза моренных отложений, а также исследования, проведенные в Горном университете под руководством Р.Э. Дашко, позволили выделить несколько типов морен по их инженерно-геологическим особенностям и степени их техногенной пораженности [15, 27, 32, 33, 36, 39, 40].

Отложения ледникового комплекса осташковского горизонта в пределах Предглинтовой низменности можно отнести к моренам II и IV типа.

Морены II типа выделяются там, где ледниковые образования осташковского горизонта перекрыты комплексом озерно-ленточных глинистых отложений. В зависимости от мощности перекрывающих образований моренные

отложения могут существовать как в переходных, так и в восстановительных (анаэробных) условиях. Если верхняя толща озерно-ледниковых отложений имеет небольшую мощность (2-3м) и ее формирование происходило в субэвальных условиях, то зона гипергенеза будет охватывать не только озерно-ледниковые отложения, где обычно отмечается максимальное содержание соединений железа, но и моренные образования с менее интенсивным ожелезнением. Возрастание мощности озерно-ледниковых отложений приводит к тому, что позитивные гипергенные изменения пород, связанные с формированием цементационных связей, дегидратацией и пр. охватывают только верхнюю зону озерно-ледниковых отложений. При сохранении высокой плотности такие морены характеризуются хрупко-пластическим и пластическим характером деформируемости, снижением параметров прочности: угла внутреннего трения (φ) до 6^0 и сцепления (c) - до 0,03 МПа [20]. Для таких пород несвойственна также макро- и микротрещиноватость, хотя дефекты в толще пород фиксируются. В условиях отсутствия техногенного загрязнения толща характеризуется низкими величинами органической составляющей биотического характера.

Описываемый тип морены распространен в пределах рассматриваемой территории с абсолютными отметками более 9-10 м.

Морена IV типа развивается в условиях анаэробной обстановки под болотами, глубина которых превышает 2 м. Под слоем болотных отложений за счет процессов оглеения морена меняет свой цвет на характерные серые, голубовато-серые, зеленые тона, обогащается органическими остатками биотического и абиотического генезиса, которые определяют снижение прочности и деформационной способности пород. Как правило, отмечается высокая микробиологическая пораженность, в некоторых случаях – газообразование. Такие породы обычно имеют пластический характер деформирования, углы внутреннего трения снижаются до $5-7^0$, что определяет «бочкование» образца без видимого нарушения сплошности [33]. Техногенное загрязнение также оказывает заметное негативное воздействие на состояние и параметры физико-механических свойств этих отложений.

Флювиогляциальные надморенные отложения (fIII₄os) на территории Предглинтовой низменности характеризуются ограниченным фрагментарным распространением, приурочены к ложбинам стока, где они погребены под более молодыми осадками, а так же к камовым массивам и озам [67].

Мощность отложений колеблется от 0,5 до 5,5 м. Флювиогляциальные образования выражены, в основном, песками крупными, средними, неоднородными по зернистости, реже мелкими с включениями гравия и гальки (до 30-35%) хорошей окатанности. Залегают флювиогляциальные отложения (слагающие озы) на осташковской морене. Отложения флювиогляциальных потоков прослеживаются вдоль левого берега р. Ижора и в районе п. Коммунар (р. Славянка). Залегают флювиогляциальные образования под озёрно-ледниковыми отложениями. Могут содержать напорные воды.

Озёрно-ледниковые отложения (lgIIIos) на территории Предглинтовой низменности характеризуются ограниченным фрагментарным распространением, в южных районах города не были встречены. Озёрно-ледниковые отложения развиты на абсолютных отметках более 36-39 м.

Границы между озёрно-ледниковыми отложениями осташковского возраста и балтийского на местности выделяется по береговым валам или абразивным уступам. В основном разделение происходит по литологическому составу.

Озёрно-ледниковые отложения залегают на ледниковых или флювиогляциальных образованиях осташковского горизонта. Мощность колеблется в пределах 4-20 м. Литологический состав - разнообразный – от средне-крупнозернистых песков до ленточных и тонкослоистых глин. В большинстве это мелкозернистые, иногда слабоглинистые пески, часто неясно-или горизонтальнослоистые. Цвет отложений разнообразный и зависит от подстилающих пород. В пределах Предглинтовой низменности пески имеют серый цвет с лёгким зеленоватым оттенком.

Среди этих отложений распространены «ложные» и истинные пливуны.

Слои Балтийско-ледникового озера

Озерно-ледниковые отложения (lgIII₄^{3bl}) Балтийского ледникового озера широко развиты в Предглинтовой низменности и имеют площадное распространение. Залегают они на абсолютных отметках ниже 45-50 м. Отложения развиты с поверхности, но часто перекрываются современными морскими, аллювиальными, озёрными и болотными осадками, а подстилаются, в основном, мореной осташковского горизонта. Граница с озерно-ледниковыми осадками осташковского горизонта проводится по абразивным уступам или береговым валам.

Мощность отложений колеблется от 0,5 до 25-35 м, достигая наибольшей в отдельных понижениях коренного рельефа (с. Лебяжье, г. Петродворец). Наименьшая их мощность прослеживается к югу от г. Петродворец (0,5-1,5 м), обычно составляет 3-10 м.

Отложения разнообразны по составу и представлены песками, часто с включениями гравия и гальки различного содержания, супесями, суглинками и глинами, в том числе ленточными. Состав зависит от местоположения их в разрезе и абсолютных отметок залегания. В целом в них можно выделить два основных литологических комплекса: ленточный глинистый комплекс; пески, супеси.

Породы с ленточной слоистостью являются опорным горизонтом верхней части разреза четвертичных образований всей рассматриваемой территории до высоты 45-55 м над уровнем моря и постепенно переходят в супеси и дальше в пески. Грунты в этом комплексе характеризуются повышенной влажностью, низкой плотностью и неустойчивыми формами консистенции. Глинистые отложения этой зоны имеют тиксотропные свойства, т.е. обладают способностью к разжижению при воздействии динамических, либо вибрационных нагрузок, а в состоянии покоя восстанавливают свою прочность, однако не до первоначальных значений [33].

Пески от пылеватых, тонких и мелких до разнотернистых и крупных с тем или иным содержанием гравия и гальки, и супеси слагают с поверхности высокие озерно-ледниковые террасы Предглинтовой низменности.

Озерно-ледниковые отложения имеют высокую степень водонеустойчивости за счет значительного содержания пылеватых фракций (0,05 – 0,002 мм), легко размокают и размываются. Вся толща озерно-ледниковых отложений обладает способностью к сильному морозному пучению. При высокой степени загрязнения отложений, особенно их микробной пораженности, снижается прочность глинистых разностей, а песчаные образования обычно трансформируются в пливуны [33].

Особенно следует отметить негативные изменения в толще озерно-ледниковых отложений, если они залегают под болотными образованиями. Под болотами глинистые грунты обладают прочностью $\tau < 0,02$ МПа и модулем общей деформации $E_0 \leq 5$ МПа при ярко выраженной способности к разжижению при динамических нагрузках. Кроме того, грунты под болотами обладают выраженной биокоррозионной агрессивностью [33].

Озерно-ледниковые отложения завершают разрез верхнечетвертичных образований.

Голоцен

Голоценовые отложения на территории рассматриваемого района имеют повсеместное распространение. Обычная их мощность не превышает нескольких метров.

Современные образования представлены, в основном, биогенными (болотными) отложениями, а по всем рекам распространены аллювиальные отложения, которые не имеют практического значение при освоении описываемого региона.

Биогенные (болотные) отложения (рН) широко распространены в пределах всей рассматриваемой территории, охватывая около 10% ее площади. Отложения встречаются как на водоразделах, так и в долинах рек и ручьёв на абсолютных высотах от 3-5 м. В Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона встречаются крупные болотные массивы (Шушарское и Усть-Тосненское). Болота по своему генезису – верховые и низинные.

Биогенные отложения залегают только с поверхности и подстилаются большей частью озёрно-ледниковыми и ледниковыми отложениями. Биогенные отложения – торф светло- и тёмно-коричневого, местами почти чёрного цвета, мощность которого колеблется от 1,5 до 3,0 м, максимально достигая 15,0 м.

В первую очередь, необходимо обратить внимание на существенное и негативное воздействие болот, распространенных на территории до её освоения и в настоящее время, на подстилающие их песчано-глинистые отложения. Четвертичная толща в пределах заболоченных участков за счет привноса органической компоненты и деятельности микроорганизмов может рассматриваться как слабая, неустойчивая среда, обладающая способностью к пластическим деформациям и характеризующаяся интенсивным газовыделением, а также высокой агрессивностью по отношению к строительным материалам.

Генерация газов характерна для разреза подземного пространства Санкт-Петербургского региона не только в болотных отложениях и подстилающих грунтах, но и даже в коренных породах (см. п. 2.2).

Негативное воздействие болот обычно прослеживается до глубины 30,0 – 50,0 м, что необходимо учитывать при проектировании сооружений различного назначения, их строительстве и эксплуатации на территориях, бывших заболоченных до их освоения [33].

1.5 Выводы к главе 1

1. Знание геологической истории формирования Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона и её структурно-тектонической обстановки обуславливает подход к инженерно-геологической оценке разреза толщи рассматриваемой территории, и следовательно достоверность прогноза взаимодействия вмещающей толщи с сооружениями различного назначения.

2. Расположение Санкт-Петербургского региона на стыке двух крупных региональных структур: Балтийского щита и Русской плиты, а также нахождение рассматриваемой территории в зоне трансконтинентального Лапландско-Нильского линеамента предопределило развитие системы разнонаправленных

региональных и субрегиональных разломов различных направлений и, как следствие, развитие в пределах описываемой территории эндогенных и экзогенных процессов. Система тектонических разломов, прослеживающаяся в осадочном чехле Предглинтовой низменности, обусловила наличие и степень дезинтегрированности коренных синих глин нижнего кембрия и верхнекотлинских глин верхнего венда. Присутствие древних погребенных долин в северо-восточной части исследуемого региона во многом определяет специфичность разреза четвертичной толщи и, следовательно, особенности её использования в качестве основания наземных сооружений и среды размещения подземных коммуникаций, а также степень защищенности ломоносовского и нижнекотлинского водоносных горизонтов.

3. В настоящее время подход к инженерно-геологической оценке нижнекембрийских глин должен базироваться на их анализе как трещиновато-блочной среды, имеющей зональное по глубине строение, при этом необходимо учитывать, что наличие и степень трещиноватости синих глин определяет изменение физических, механических и водных свойств толщи. Интенсивность трещиноватости убывает по глубине, что приводит к возрастанию размеров блоков. Важно отметить, что в зонах тектонических разломов интенсивность трещиноватости глин максимальна на всю глубину разреза и часто нарушается зональное строение толщи.

4. При оценке устойчивости сооружений на трещиноватых глинистых отложениях следует рекомендовать исследование их прочности и деформационной способности только в условиях трехосного сжатия с возможностью бокового расширения для оценки влияния микротрещиноватости, проведение исследований масштабного эффекта, учет макротрещиноватости с помощью полевых испытаний, либо специального коэффициента структурного ослабления, а также использование специально выведенных для учета трещиноватости формул.

5. В пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона разрез четвертичных отложений должен рассматриваться с позиции не только их

геолого-генетической принадлежности, но и при обязательном условии анализа содержания природной органической компоненты (захороненные болота, погребенные торфа, содержание рассеянной органики) в песчано-глинистых образованиях. Особое внимание должно быть обращено на моренные отложения, которые в практике инженерной геологии и геотехники рассматриваются как плотные и прочные разности. Вместе с тем, опыт строительства, а также большой объем выполненных экспериментальных полевых и лабораторных исследований требует дифференцированного подхода к этим породам в зависимости от условий их формирования в послеледниковое и современное время, а также степени их техногенной пораженности.

ГЛАВА 2 ПРИРОДНЫЕ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРЕДЕЛАХ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ

2.1 Общие положения

Повышение безопасности освоения подземного пространства Санкт-Петербургского региона и обеспечение устойчивости проектируемых и эксплуатируемых сооружений различного назначения должно быть реализовано с учетом действующих природных и природно-техногенных процессов, а также прогнозирования этих процессов при анализе взаимодействия сооружений с многокомпонентной подземной средой.

Специфика инженерно-геологических условий, а также воздействие различных техногенных факторов предопределяет развитие и активизацию природных и природно-техногенных процессов и явлений на территории Предглинтовой низменности.

В начале XXI в. на основе результатов полевых и лабораторных исследований, а также проработки большого объема исторических, архивных и фондовых материалов и их теоретического обобщения на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета произведена диагностика и систематизация процессов и явлений в подземном пространстве города Санкт-Петербурга по следующим позициям [69]:

- генетический тип процесса (эндогенный или экзогенный);
- фактор или факторы, в том числе природные и/или техногенные, определяющие возникновение и развитие процессов и явлений;
- характер и масштабы проявления таких процессов;
- особенности развития определенного процесса во времени;
- возможные последствия проявления процесса для функционирования наземных зданий, подземных сооружений, в том числе инженерных коммуникаций;
- разработка стратегии защиты зданий и сооружений при условии развития негативно воздействующих процессов и явлений.

Подобная систематизация действующих и прогнозируемых природных и природно-техногенных процессов в подземном пространстве Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона, составленная на основе вышеописанной диагностики и классификации, приведена в таблицах 2.1 и 2.2 для эндогенных и экзогенных процессов соответственно.

Все диагностируемые процессы и явления по степени опасности условно разделены на три группы: ПОЭ – проблематично опасные; ОЭкз – опасные экзогенные процессы и явления; С_нЭкз – экзогенные процессы со средним и низким уровнями опасности.

К наиболее опасным, с точки зрения обеспечения надежности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в пределах Предглинтовой низменности, действующим и прогнозируемым природным и техногенным процессам и явлениям относятся:

- 1) эндогенные: радоноопасность, «глиняный диапиризм»;
- 2) экзогенные: оползневые процессы; заболачивание и его влияние на подстилающие породы; развитие плывунов.

Таблица 2.1 - Систематизация эндогенных процессов в подземном пространстве Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона

Эндогенные процессы по характеру проявления	Масштаб проявления	Определяющие факторы	Развитие во времени
1	2	3	4
Природные			
малоамплитудные движения отдельных структурных блоков	региональный	расположение территории в пределах тектонически напряженной геодинамической области, большое количество разнонаправленных разломов	постоянно с различной интенсивностью
сейсмичность	региональный	наличие зон геодинамически активных разломов	временно
радоноопасность	региональный	присутствие в разрезе территории горных пород и минералов с повышенным содержанием естественных радионуклидов	постоянно с различной интенсивностью
«глиняный диапиризм»	локальное	проявление неотектоники и блоковых движений	происходило в поздне- и послеледниковое время

Таблица 2.2 – Систематизация природных и природно-техногенных экзогенных процессов в подземном пространстве Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона

Экзогенные процессы по характеру проявления		Масштаб проявления	Определяющие факторы	Развитие во времени
1		2	3	4
природные				
овражная эрозия		узколо-кальный, линейный	особенности рельефа (обрывистые склоны рек и куэстообразные обрывы глинта), климат территории, распространение с поверхности пород неустойчивых к размыву	мгновенно или длительно-циклические
речная (боковая) эрозия			геолого-морфологические особенности территории, гидрометеорологические условия и растительность	временно
оползневые деформации			несоответствие удерживающих и сдвигающих усилий на незакрепленных склонах водотоков, сложенных глинистыми породами, берега рек после паводков	мгновенно или длительно-циклические
болота и заболачивание		локальное, площадное	избыточно-влажный гумидный климат, преобладающее распространение с поверхности слабопроницаемых ледниковых отложений, развитие равнинного слабо дренированного рельефа	постоянно
биохимическое газообразование			микробная деятельность в битуминозных микулинских отложениях, под болотными массивами	часы, сутки, месяцы
пльвуны	истинные	локальное, площадное	вскрытие водонасыщенных пылеватых песков с преобладающей т/з и м/з фракцией	минуты, часы
	ложные		действие гидродинамического давления при вскрытии песка любого грансостава	
природно-техногенные				
подтопление территорий в результате застройки и утечек из инженерных систем		региональный	несовершенство систем водоотведения и её разрушение	постоянно
загрязнение зоны аэрации, грунтовых вод, водовмещающих пород и водоупоров		региональный	инфильтрация загрязняющих компонентов из свалок хозяйственно-бытового мусора, утечек из систем водоотведения коммунально-бытовых и промышленных сооружений, автозаправочных станций и др.	регулярно
изменение температурного режима		региональный	тепловыделение из инженерных систем и зданий	постоянно

Продолжение таблицы 2.2

Экзогенные процессы по характеру проявления		Масштаб проявления	Определяющие факторы	Развитие во времени
1		2	3	4
природно-техногенные				
биохимическое газообразование		локальный	развитие микробной деятельности за счет наличия погребенных болот, поступления питательных и энергетических субстратов, а также микробиоты из систем водоотведения и захороненных свалок	постоянное накопление газов в дисперсных грунтах с различной интенсивностью во времени
негативное преобразование состояния и свойств песчано-глинистых грунтов	песков (формирование плывунов)	повсеместно по площади и разрезу	биологическое поглощение, активизация микробной деятельности (накопление продуктов метаболизма, газонасыщение)	постоянно
	тиксотропность глинистых грунтов			
коррозионная деструкция строительных материалов		локально-мозаичный	физико-химическая и биохимическая агрессивность подземных вод и пород	постоянно
неравномерные деформации наземных и подземных зданий и сооружений		локальный	негативное преобразование состояния и свойств пород основания, биохимическое газообразование, коррозионная деструкция строительных материалов	годы, десятки лет и более
«наведенная» сейсмичность		локальный линейный, либо мало-площадной	наличие слабых тиксотропных грунтов и плывунов в пределах зоны влияния транспортных сооружений и ведения строительных работ	постоянно или временно
оползневые деформации		узколокальный, линейный	нерегулируемая хозяйственная деятельность, подрезка склонов, проведение строительных работ на откосах, пригрузка естественных склонов при возведении зданий и сооружений, подмыв берегов рек и водохранилищ и т.д.	мгновенно или длительно-циклические

2.2 Эндогенные процессы

К первой группе (проблематично опасные) отнесены эндогенные процессы, которые включают:

- радоноопасность;
- «глиняный диапиризм».

2.2.1 Радоноопасность

Территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области относится к региону с высоким уровнем радоноопасности.

К природным источникам эксгаляции радиоактивных эманации в приповерхностные слои разреза пород (в основном, в зону аэрации), а затем их поступления в подвальные и первые этажи помещений, принадлежат горные породы, руды, минералы с повышенным содержанием урана, радия и тория, в которых радон и торон образуются в процессе радиоактивного распада этих элементов.

Радон - бесцветный, безвкусный и не имеющий запаха, тяжелый (в 7,5 раз тяжелее воздуха) радиоактивный газ, период полураспада которого составляет 3,823 суток [69]. Радон хорошо растворим в воде и нефтепродуктах, а также активно сорбируется глинами и органическим веществом. Эти особенности могут во многом определять физические и физико-химические параметры, характеризующие процесс миграции радона и его распределение вблизи дневной поверхности. Согласно последним оценкам, радон и радиоактивные продукты его распада дают такую же эффективную эквивалентную дозу облучения, как все источники радиации природного происхождения, вместе взятые. Большую часть дозы, обусловленной радоном и его дочерними элементами, человек получает вместе с вдыхаемым воздухом, причем наибольшую опасность представляют для здоровья людей короткоживущие дочерние продукты распада радона - изотопы висмута – 214, полония – 218, свинца – 214. В природных условиях радон встречается в двух основных формах: в виде радона – 222, образующегося в результате распада радия – 226 и в виде радионуклида радон – 220 (торон), который является одним из короткоживущих изотопов тория с периодом

полураспада 56 сек [69]. В суммарной дозе облучения доля радона – 222 значительно выше.

Содержание естественных радионуклидов в горных породах зависит от особенностей геологического строения исследуемой территории. Санкт-Петербургский регион расположен на стыке двух региональных структур, каждая из которых имеет горные породы, характеризующиеся относительно повышенным содержанием природных радионуклидов.

В пределах южной окраины Санкт-Петербурга уже давно было обнаружено урановое оруденение на контакте кристаллических пород фундамента и осадочной толщи. Кроме того, метаморфизованные и магматические породы фундамента содержат повышенные количества радиоактивных элементов. В наибольшей степени изучена радиоактивность магматических пород, которая возрастает в ряду от ультраосновных к кислым породам. Высокие содержания отмечаются в кристаллических сланцах [69].

Осадочные породы континентальной части земной коры России также обладают повышенной радиоактивностью, которая возрастает в ряду: конгломераты — песчаники - алевролиты – аргиллиты: от 0,36 до 0,88 мЗв/год. Пониженная доза излучения пород составляет менее 0,4 мЗв/год. Следует отметить, что горные породы любого генезиса с содержанием урана более 3,5 г/т, а также локальные мелкие месторождения урана служат интенсивными поставщиками радона [69].

В южных районах Санкт-Петербурга выходят на поверхность или располагаются в непосредственной близости от нее диктионемовые сланцы - горные породы с содержанием урана выше фонового ($3 \times 10^{-4}\%$) в 10-100 раз. Диктионемовые сланцы прослеживаются по всему разрезу Балтийско-Ладожского глинта, а к югу погружаются на глубину до первых десятков метров. Этот геологический комплекс определяет повышенную радоноопасность нескольких районов рассматриваемого региона – Красносельского и Пушкинского (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Карта прогнозной радоноопасности по данным ФГУ ГП «Урангеологоразведка» [85]

Важным фактором накопления радона в почвенном и подпочвенном воздухе является коэффициент эманирования горных пород и минералов, который резко повышается в дезинтегрированных зонах, например, при наличии трещиноватости и выветрелости пород, повышении давления, влажности среды и т.д. Механизм переноса эманации к дневной поверхности чрезвычайно сложен и определяется особенностями геолого-литологического строения, присутствием тектонических разломов как проводящих зон, наличием напорных водоносных горизонтов, геодинамической активностью регионов и отдельных участков разреза кристаллического фундамента [5, 69, 100].

В настоящее время для оценки радоноопасности используется два параметра: объемная активность (ОА) радона в воздухе в приповерхностных слоях разреза и плотность потока (ПП) радона (экспаляция) с поверхности грунтов. Российский геоэкологический центр почти 20 лет занимается вопросами природной (геологической) составляющей радоноопасности. За этот период создан банк данных по результатам фактических измерений объемной активности (11435 пунктов) и плотности потока радона (2873 пункта) [13]. Статистические

характеристики, полученные при исследовании рассматриваемого региона, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Статические параметры фактических измерений объемной активности и плотности потока радона [13]

Статистические параметры	Санкт-Петербург		Ленинградская область	
	ОА радона, кБк/м ³ (n=11435)	ПП радона, мБк/м ² *с (n=2873)	ОА радона, кБк/м ³ (n=5320)	ПП радона, мБк/м ² *с (n=978)
Максимум	250	132	289	337
Минимум	<1	<5	<1	<5
Среднее	9,5	16,2	9,7	20,6
Медиана	10,9	12,9	11,4	19,9
Станд.откл.	6,5	13,0	7,0	14,2

Основные критерии радоноопасности территорий по ожидаемой величине среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) (в процентах) в жилых помещениях приведены в таблице 2.4

Как справедливо отмечают специалисты ФГУП Севзапгеология, осредненные характеристики дают лишь общую картину условий радоноопасности. Соответственно прогноз радоновой опасности должен базироваться на результатах длительного эманационного мониторинга [69].

Таблица 2.4 - Критерии радоноопасности территорий (с использованием НРБ-96 и дополнений Б.Г. Дверницкого, ФГУП Севзапгеология) [69]

Степень радонового риска	Ожидаемый процент жилых зданий, в которых содержание ЭРОА радона превышает (Бк/м ³):			
	50	100	200	400
Катастрофическая			>5	>0,1
Чрезвычайная			1,0-5,0	0,08-0,10
Кризисная		>10	0,75-1,0	0,06-0,08
Весьма высокая	>50	6,6-10,0	0,5-0,75	0,04-0,06
Высокая	17-50	3,3-6,6	0,25-0,50	0,02-0,04
Повышенная	5,0-17,0	1,0-3,3	0,1-0,25	0,01-0,02
Благополучная	до 5	до 1	до 0,1	до 0,01

Фоновое содержание радона в зоне аэрации Санкт-Петербургского региона составляет 1–8 Бк/м³. В зонах тектонических разломов и на площадях развития палеодолин эти значения могут повышаться на порядки. В изменении содержания

радона во времени пока не устанавливается четких закономерностей. Отмечается пульсирующий характер его проявления по отдельным профилям во времени. Соотношение замеренных значений содержания радона в зоне аэрации обычно составляет 3–5, реже больше [69].

Эманиационная съемка, проводимая различными организациями на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, показала заметное содержание радона в зоне аэрации на глубине 0,6–0,8 м от дневной поверхности, а также его присутствие в подвалах домов и на первых этажах зданий в количестве, опасном для здоровья человека. Об уровне радоноопасности того или иного района можно судить по карте, показанной на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Карта прогнозной радоноопасности в Санкт-Петербурге и Ленинградской области [75]

Не следует оставлять без внимания и техногенные источники радиоактивного загрязнения. На рассматриваемой территории такими источниками являются захоронения радиоактивных отходов; радиоактивные излучения в результате работы Ленинградской АЭС и прочих объектов, использующих ядерное топливо.

Техногенные радиоактивные загрязнения формировались за счет неконтролируемого поступления радиоактивных веществ, материалов и изделий, применяемых в науке, медицине и промышленности. По архивным данным, за период с 1905 по 1917 год в город было завезено и переработано для получения радия более 500 тонн обогащенной урановой руды [85]. В послевоенные годы на

предприятиях города решались разнообразные задачи, связанные с использованием ядерной энергии, тогда и сформировались масштабные радиоактивные загрязнения.

До организации в 1962 году специализированного предприятия по захоронению радиоактивных отходов (Ленспецкомбинат «Радон» в г. Сосновый Бор) предприятия города оставляли свои отходы на своей территории, а часть отходов вывозили на городские свалки [85]. Отсюда большое количество радиационных аномалий, выявляемых в периферийных районах города.

Примером опасного излучения от радиоактивного мусора в Ленинградской области служат заброшенные подземные ракетные шахты в посёлке Лебяжье. Специалисты установили здесь превышение нормы радиационного излучения, источником которого является стронций, в 20 раз [74].

Негативное воздействие природных и техногенных низкоактивных источников излучения на горные породы, которое необходимо учитывать при использовании подземного пространства Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона, будет рассмотрено на примере коренных глин нижнего кембрия, в связи с их широким распространением на исследуемой территории и использованием в качестве естественного основания и среды сооружений различного назначения.

Под воздействием радиации, согласно исследованиям, проведенных на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета, синие глины претерпевают следующие изменения: происходит уменьшение содержания глинистых минералов за счет их аморфизации, снижение содержания пылеватой фракции, емкость поглощения возрастает в 2 раза, плотность глин уменьшается в 1,2 раза, снижаются параметры механических свойств, наблюдается радиолиз поровой воды, постепенное снижение влажности и развитие дезинтегрированности толщи глин, а также интенсификация микробной деятельности во вмещающей толще синих глин, сопровождающаяся дополнительным снижением их прочности и повышением уровня биохимической коррозии конструкционных материалов.

2.2.2 «Глиняный диапиризм»

На территории северо-запада Русской равнины дислокации и отторженцы в толще антропогена до конца 70-х гг. XX в. описывались всеми исследователями этих регионов как бесспорный результат действия покровных ледников. В большинстве работ гляциальная природа мелкой складчатости и отторженцев считается строго доказанной и поэтому какие-либо иные причины их возникновения обычно вообще не рассматриваются и даже не упоминаются. В них, как правило, отсутствуют данные о распространении складок на глубину, об их связи с разломами в фундаменте и нижних горизонтах чехла, не анализируется литологический состав как самих дислоцированных, обычно четвертичных осадков, так и подстилающих их коренных пород. Почти не встречается сколько-нибудь детальное сопоставление расположения участков сложной складчатости с рельефом коренного ложа, с осложняющими его уступами, переуглубленными долинами и т. д. Остается практически не исследованным их соотношение с конфигурацией блоков фундамента, выделяемых по геологическим и геофизическим данным, с интенсивностью и знаком неотектонических движений и рядом других факторов [102].

Вместе с тем во второй половине XX в. вышел целый ряд трудов, где генезис описываемых структур связывают, главным образом, с проявлениями неотектоники и блоковых движений фундамента.

В некоторых из статей (Волин, 1974; Лобанов, 1979) причиной образования сложных дислокаций и отторженцев в верхней части осадочного чехла, в частности таких крупных и широко известных, как возвышенности Красного Села – Дудергофа и Павловска, изучавшиеся в течение многих десятилетий, считается выдавливание нижнекембрийских пластичных глин сквозь толщу ордовикских карбонатов вследствие неравномерной, в том числе ледниковой (по И.Н. Лобанову) нагрузки и вероятно разнонаправленного движения блоков фундамента [102]. В работах профессора Н. Г. Чочиа рассматриваемый процесс был обозначен как «глиняный диапиризм».

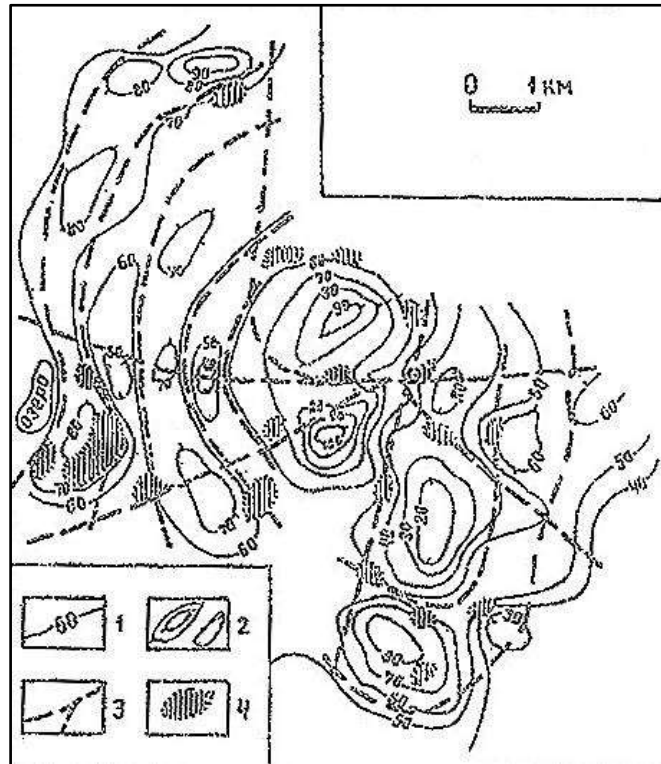
Принципиально новые представления о генезисе подобных структур были получены в 1967 - 1969 гг. в результате детальных геологических работ, бурения и геофизических исследований на восточном берегу Чудского озера, проводившихся А. Д. Шмаенком, Д. Б. Малаховским и И. П. Бакановой на участке широко известных, описанных еще в 30-х гг. Б. П. Асаткиным дислокаций в урочище Мишина гора. Здесь было оконтурено овальное в плане тело, отчетливо читаемое в геофизических полях, размером 4 x 2,5 км. До глубины 900 м оно оказалось сложено агломерато-брекчией и осложнено по периферии серией кольцевых разломов, вдоль которых в полосе шириной 4 - 5 км располагались дислоцированные отложения ордовика, силура и девона. Среди обломков, составляющих брекчию, присутствовали не только все разновидности пород чехла, но и гнейсы, и кристаллические сланцы фундамента. Наличие магматического и вулканогенного материала установлено не было, но авторы пришли к выводу, что Мишина гора представляет собой трубку взрыва, возникшую предположительно в конце девона [102].

С начала 80-х гг. анализ всех материалов, накопившихся для северо-западного региона в полосе погружения Балтийского щита, по участкам распространения известных здесь наиболее крупных дислокаций пород чехла и отторженцев, образованных ими, вели В. М. Тимофеев и В. А. Бурневская.

В.А. Бурневская рассмотрела несколько таких участков, на которых ею были установлены или предполагались признаки эксплозивной деятельности. Особенно подробно были исследованы Дудергофские высоты, где на площади в 60 - 80 км² в породах кембрия и ордовика давно известны крутые, до 60 - 80°, углы падения, а на отдельных участках зафиксировано перевернутое залегание слоев [102].

В. А. Бурневская заново проанализировала все материалы бурения, построила детальную структурную карту по кровле глин кембрия и геологическую карту участка, а также схему распределения мощностей и состава четвертичных отложений. В результате с удивительной четкостью вырисовалась кольцевая структура с радиусом в 4 км, состоящая из приподнятого на 90 - 100 м

ядра и чередующихся концентрических валов и прогибов, окружаемых и рассекаемых кольцевыми и радиальными дизъюнктивами — зонами дробления, в пределах которых были установлены отчетливые следы гидротермальной деятельности (рисунок 2.3) [102].



1 — изогипсы поверхности синих кембрийских глин; 2 — локальные купола и впадины; 3 — тектонические нарушения; 4 — отторженцы коренных пород.

Рисунок 2.3 — Дудергофская кольцевая структура (по В.А. Бурневской, 1986,1987)

Анализ рыхлых четвертичных отложений, считавшихся предыдущими исследователями мореной, показал, что глыбы местных коренных пород в смеси с четвертичными отложениями обрамляют ядро и наиболее высокие части центрального купола, образованного выжатыми кембрийскими глинами, располагаясь на его склонах, где достигают мощности 80 м. Здесь же сосредоточены и глыбы кристаллических пород — габбро, гранитов, амфиболитов, реже гнейсов. В радиусе 2,5 - 3 км от центральной части структуры их мощность сокращается до 4 - 8 м, т. е. становится обычной для окрестностей Санкт-Петербурга [102]. Все это позволило считать, что дислокации и отторженцы Дудергофа имеют взрывную природу.

Приведенные выше примеры дали возможность предположить, что образование локальных поднятий в южной части Предглинтовой низменности

связано с неотектоническим периодом геологической истории рассматриваемого региона, когда в пределах узлов тектонических разломов в период активизации тектонической деятельности происходило выдавливание нижнекембрийских синих глин. К наиболее крупным «глиняным диапирам» северо-западного региона относятся Дудергофские высоты, «Мишина» гора около Котлов, структура на левом берегу р. Луги около пос. Первомайского (к западу от Кингисеппа).

В исследуемом регионе подобное строение имеет небольшая в плане структура, которая носит название урочище Большой Симоногонт, а также ряд структур в Ломоносовском и Петродворцовом районах (рисунок 2.4).

В предглинтовой зоне выдавленные синие глины обычно перекрыты маломощными отложениями лужской морены.

В пределах диапировой структуры синие глины имеют характерные визуальные признаки, а также параметры физико-механических свойств, отличные от тех же глин в условиях их ненарушенного залегания. Отчетливо заметна «милонитизация» этих глин, проявляющаяся в тонкослоистой текстуре, при этом такие слои располагаются под различными углами к горизонту. Связность между слоями отсутствует либо имеет весьма низкие значения. В глинах отмечается наличие мелкой обломочности за счет интенсивной трещиноватости.

Выдавливание глин определило разрушенность структурных связей в этой породе, что наложило свой отпечаток на ее водоустойчивость, прочность и деформационные способности. Расслоенность и трещиноватость глин в диапировых структурах создает условия для формирования относительно высокой проницаемости, не характерной обычно для такого типа пород.

Специфика инженерно-геологических условий, обусловленная наличием в разрезе осадочной толщи диапировых структур, диктует необходимость особого подхода к оценке состояния и свойств нижнекембрийских глин в пределах рассматриваемой территории при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений различного назначения.



Рисунок 2.4 – Схематическая карта Санкт-Петербургского региона развития диапировых структур

2.3 Экзогенные процессы

На значительной части Санкт-Петербурга и Ленинградской области в той или иной степени распространены различные виды экзогенных геологических процессов (ЭГП), обусловленные структурно-тектоническим положением региона, который в свою очередь диктует особенности подземного рельефа и трещиноватость коренных пород разреза, наличием мощной толщи слабых песчано-глинистых водонасыщенных отложений, влиянием различных источников контаминации подземного пространства, а также гидродинамическим режимом водоносных горизонтов. Систематизация ЭГП по характеру и масштабу проявления в пределах исследуемого Санкт-Петербургского региона приведена в таблице 2.2.

На рисунке 2.5 отмечены проявления экзогенных процессов выявленные на территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона.

Традиционно в качестве главных критериев активизации и развития экзогенных геологических процессов рассматриваются лишь напряженно-деформированное состояние горных пород, деятельность поверхностных и подземных вод, а также гидродинамические условия в разрезе. Однако в настоящее время учет указанных факторов оказывается недостаточным при анализе и прогнозировании ЭГП, так как не принимается во внимание техногенное воздействие, которое оказывает существенное влияние на негативное преобразование многокомпонентного подземного пространства региона.

Все экзогенные процессы, интенсивность развития которых в подземном пространстве Санкт-Петербургского региона определяется природными и природно-техногенными факторами, по уровню опасности делятся на следующие типы:

- опасные экзогенные процессы и явления;
- экзогенные процессы со средним и низким уровнями опасности.



Рисунок 2.5 – Схематическая карта проявления экзогенных процессов в пределах Санкт-Петербургского региона

К экзогенным процессам со средним и низким уровнями опасности следует отнести процессы овражной и боковой (речной) эрозии, а также подтопление.

На рассматриваемой территории **процесс овражной эрозии** наиболее часто развивается по моренным суглинкам и имеет ограниченное распространение (см. рисунок 2.5). Длина оврагов редко превышает 200 м, глубина 3-20 м, форма У-образная.

Согласно данным мониторинга ЭГП, проводимого с 2005 года и по настоящее время, наиболее пораженными овражной эрозией районами Санкт-Петербургского региона являются Колпинский 4,4%, Красносельский, Петродворцовый 2,7 – 2,8%, Московский и Пушкинский 1,0 – 1,5% .

В Петродворцовом районе оврагообразование связано с куэстообразными обрывами глинта. На территориях Красносельского, Московского, Пушкинского и Колпинского районов овражная эрозия приурочена к обрывистым склонам рек.

В настоящее время формы проявления процесса оврагообразования не представляют угрозы для людей, зданий и сооружений.

Процессы **речной (боковой) эрозии** проявляются на всех реках рассматриваемой территории (см. рисунок 2.5), но, как правило, интенсивность их слабая или средняя, преобладающие значения коэффициента пораженности 0,05 – 0,15 [58].

В пределах Предглинтовой низменности наиболее интенсивно процесс боковой эрозии проявляется на реках Дудергофка, Кикенка, Большая Ижорка, Ижора, Попова Ижорка, Кузьминка, Славянка, Стрелка, Пулковка, Дачная, Черная (Петродворцовый район), Шингарка, Тосна, Поповка и др., в связи с чем вышеперечисленные водотоки являются постоянными объектами мониторинга Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.

Необходимо отметить, что в административных районах Санкт-Петербурга в пределах Предглинтовой низменности проявляется такой процесс как **подтопление** территории (см. рисунок 2.5) и изменение температурного режима за счет утечек из инженерных коммуникаций. Подтопление приводит к

дополнительному ухудшению состояния и свойств грунтов основания, изменению их напряженного состояния, что, в свою очередь, влияет на устойчивость сооружений. Основной метод борьбы - дренажная система. Для определения типа дренажной системы необходимо выявить причину образования подтопления.

Особое внимание следует уделить Колпинскому району, где причиной подтопления застроенной территории служит постоянный подток воды из Ижорского водохранилища. Более подробно формирование и изменение гидродинамических условий описываемого района будут рассмотрены в п. 3.4.

К наиболее опасному процессу следует отнести негативную трансформацию песчано-глинистых пород как четвертичного, так и дочетвертичного возраста при изменении физико-химических и биохимических условий. Причем такие изменения могут быть вызваны не только техногенным фактором, например контаминацией (загрязнением) подземной среды, но и действием природных условий, в частности широким развитием захороненных болот и отложений, обогащенных органическим материалом.

Процессы заболачивания, оползневые деформаций, а также развитие пlyingунов играют главную роль при обеспечении безопасного строительства и эксплуатации сооружений различного назначения на территории Предглинтовой низменности, вследствие этого они будут рассмотрены более подробно.

2.3.1 Оползневые процессы

Разветвленная речная система, наличие естественных склонов по берегам рек и непосредственно Балтийско-Ладожского глинта в основании которых залегают нижнекембрийские синие глины предопределила развитие оползневых деформаций в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона. Помимо природных факторов причиной активизации оползневых процессов на рассматриваемой территории служит деятельность человека. Зафиксированные оползневые явления в исследуемом регионе отмечены на рисунке 2.5.

Развитие на склонах и откосах гравитационных процессов в пределах городских территорий является одной из самых важных и сложных проблем

инженерной геодинамики в сложившихся условиях интенсивной техногенной нагрузки. Изучением многофакторных гравитационных процессов на природных склонах и искусственных откосах занимались такие ведущие специалисты как Ф.П. Саваренский, В.Д. Ломтадзе, И.П. Иванов, Г.С. Золотарев, Г.Л. Фисенко, Е.П. Емельянова и многие другие.

Основной причиной возникновения оползней является нарушение соотношения между сдвигающими силами и силами, препятствующими смещению горных пород, главным образом вследствие изменения напряжённого состояния и снижения сопротивления сдвигу пород.

Оползни весьма разнообразны по размерам, строению, причинам образования и условиям, способствующим их возникновению и развитию, следовательно, и классификаций этого процесса разработано немало [55]. Рассмотрим наиболее известные из них.

Одну из первых классификаций оползней по их строению (структуре) предложил Ф.П. Саваренский (1934 г.). Согласно этой классификации оползни подразделяются на **асеквентные**, возникающие в однородной среде, где поверхность скольжения, как правило, вогнутая, имеет форму близкую к круглоцилиндрической, она обусловлена физико-механическими свойствами пород; **консеквентные**, образующиеся в неоднородных и трещиноватых породах, где плоская, волнистая или наклонно-ступенчатая поверхность скольжения обусловлена строением склона или откоса, существующими поверхностями ослабления; **инсеквентные**, формирующиеся также в породах неоднородных, слоистых, залегающих горизонтально или наклонно в сторону склона, поверхность скольжения у таких оползней врежется и пересекает слои разного состава [49,55].

Г. С. Золотарев (1983 г.) произвел разделение оползней на генетические типы по двум взаимосвязанным признакам: механизму смещения оползневых масс и их строению (составу и структуре). По механизму смещения были выделены группы, а по составу и текстуре – типы и виды. Среди гравитационных процессов в разработанной классификации оползни занимают вторую группу с

четырьмя подгруппами: оползни выдавливания, консеквентные, вязкопластические и комбинированные [55].

В классификации В.Д. Ломтадзе (1977 г.) оползни рассматриваются в трех видах в зависимости от состава и характера движения оползневых масс: **структурные** - скольжение блока или блоков горных пород по поверхности скольжения без существенного нарушения их внутреннего строения (этот вид подразделяется на асеквентные, консеквентные, инсеквентные оползни), **пластические** – течение масс горных пород подобно вязкой жидкости по наклонной поверхности скольжения (всегда консеквентные) и **структурно-пластические** – скольжение блока или блоков горных пород, которые при движении разрушаются, дробятся и превращаются в массу, ползущую подобно вязкой жидкости по поверхности скольжения [55].

В основе классификации И.П. Иванова лежит причина потери устойчивости склонов и откосов. Все нарушения сгруппированы в 10 типов, выделение которых обусловлено генезисом оползневого процесса, привязано к геологическим условиям и выражено формами проявления [49].

Отдельное внимание, во многих, в том числе и приведенных выше классификациях оползневых процессов уделяется механизму движения горных пород (механизму оползня).

Механизм оползня зависит от многих факторов, таких как рельеф, геологическое строение территории, присутствие в разрезе слабых слоев, особенности гидродинамических условий, состояние и физико-механические свойства слагающих склон (откос) отложений и т.д.

Знание типа механизма оползневого процесса позволяет прогнозировать его динамику и последствия, осуществлять выбор расчетных моделей и показателей сопротивления сдвигу, для обоснования мероприятий инженерной защиты и обоснования геодинамического мониторинга.

Развитие оползневых деформаций на естественных склонах и искусственных откосах наносит значительный материальный и социальный ущерб. При этом Комитетом по охране окружающей среды, природопользованию

и обеспечению экологической безопасности, который ежегодно осуществляет мониторинг ЭГП на территории Санкт-Петербургского региона, не проводится системных наблюдений для выявления наличия и развития оползневых процессов.

Согласно выполненным теоретическим и экспериментальным исследованиям в пределах Предглинтовой низменности оползневые процессы развиваются за счет следующих природных и техногенных факторов:

- 1) естественные склоны берегов рек и склоновая часть Балтийско-Ладожского глинта (в результате подмыва речной водой или переувлажнении горных пород атмосферными осадками и подземными водами);
- 2) подрезка склона при проложении транспортных сооружений;
- 3) строительство откосных сооружений (насыпи, дамбы) на относительно слабом основании;
- 4) пригрузка естественных склонов при возведении зданий и сооружений различного назначения;
- 5) использование приоткосной части в хозяйственной деятельности человека.

При описании оползневых процессов на территории Предглинтовой низменности использовались общие и наиболее известные классификации Ф.П. Саваренского, В.Д. Ломтадзе, а также принцип компетентности И.П. Иванова.

По разработанной Ф.П. Саваренским классификации на основе положения поверхности скольжения по отношению к инженерно-геологическому разрезу склонового массива в пределах рассматриваемой территории, выделенные оползни относятся в большинстве случаев к инсеквентным (преимущественно в склоновой части глинта и по берегам рек) и инсеквентно-консеквентным (активизировавшиеся в результате техногенного воздействия). Однако необходимо отметить, что на территории Предглинтовой низменности за пределами исследуемого региона распространены оползни консеквентного типа, приуроченные к вогнутым очертаниям берегов р. Тосны (начиная от места впадения в неё р. Саблинки и ниже по течению) [86].

Согласно классификации, предложенной В.Д. Ломтадзе, в южной части рассматриваемого региона и за его пределами на склонах, сложенных нижнекембрийскими синими глинами, преобладают пластичные оползни, а в юго-восточной части Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона и за её пределами на склонах рек Саблинка и Тосны распространены структурно-пластические оползни [55].

Механизм оползня нельзя рассматривать отдельно от процесса формирования поверхности скольжения, обусловленного последовательностью чередования и мощностью в откосе или склоне компетентных и некомпетентных отложений разной прочности, деформируемости и характера их разрушения. По И.П. Иванову плотные и прочные породы с хрупким характером деформирования относятся к компетентным, а породы меньшей прочности с пластичным характером разрушения – к некомпетентным [49].

На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области в основании склонов, как правило, залегают нижнекембрийские синие глины, которые согласно многочисленным исследованиям, проведенным на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета, имеют зональное строение по глубине разреза и в первой выделенной зоне переменной влажности и плотности разрушаются как квазипластичные разности (см. пункт 1.3). Следовательно, в соответствии с разработанным И.П. Ивановым принципом компетентности, синие глины могут быть отнесены к некомпетентным отложениям, что обуславливает наличие и особенности развития оползневых деформаций на рассматриваемой территории.

Некомпетентность синих глин в верхней части разреза рассматриваемого региона также отмечалась в исследованиях, проведенных М.О. Путиковой. Полученные автором показатели физических свойств и параметров прочности нижнекембрийских синих глин, отобранных в нижней части разреза оползневых тел на склонах рек Саблинка, Тосны и Большой Койровки свидетельствовали об их разуплотнении ($\rho = 1,97-2,07 \text{ т/м}^3$), переувлажнении ($W = 0,20-0,30$) и снижении характеристик сопротивления сдвигу ($c < 0,05 \text{ МПа}$, $\varphi < 10^\circ$) [86].

Так, например, причиной развития на склоне при впадении р. Саблинка в р. Тосну инсеквентного оползня послужило наличие в нижней части разреза территории синих пластичных глин нижнего кембрия (рисунок 2.6). Залегающие в основании склона увлажненные пластичные синие глины характеризуются следующими физико-механическими показателями: плотность составляет $2,0-2,1 \text{ т/м}^3$, величины угла внутреннего трения и сцепления варьируют в пределах $3-6^\circ$ и $0,055-0,5 \text{ МПа}$, соответственно [86].

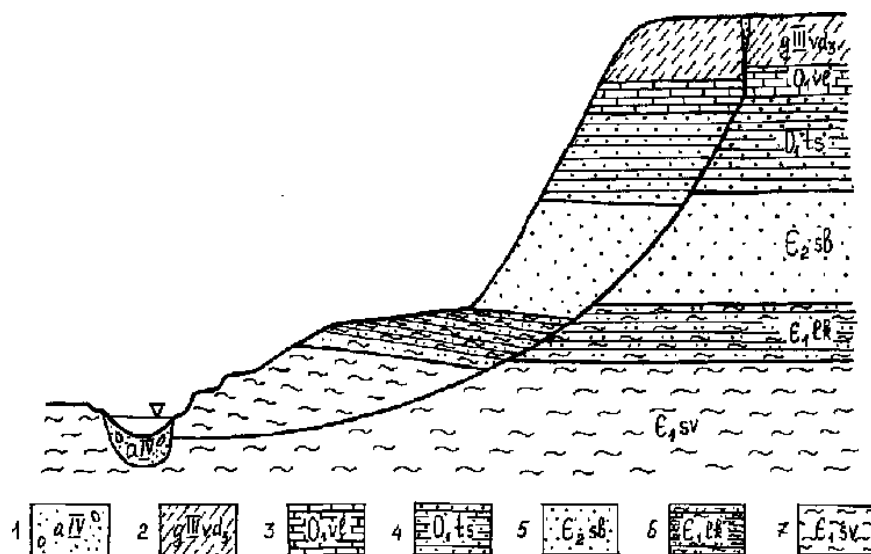


Рисунок 2.6 – Схематический разрез оползневого склона у места впадения р. Саблинка в р. Тосну [86]:

1-современные аллювиальные отложения; 2-моренные суглинки (осташковский горизонт, лужская свита); 3-волховские известняки; 4-песчаники (тосненская свита); 5-пески саблинской свиты; 6-песчаники с прослоями глин (люкатиская свита); 7-нижнекембрийские глины.

Описываемые отложения послужили очагом оползнеобразования, где постепенно накапливались сдвиговые деформации, спровоцировавшие изменение напряжённого состояния склона в целом. Нарушение первого от поверхности слоя разреза, в котором наблюдались вертикальные трещины, привело к постепенному формированию поверхности скольжения, пересекающей нижезалегающие слои, слагающие основную часть склона.

В пределах Санкт-Петербурга и Ленинградской области оползневые смещения фиксируются не только по берегам рек Тосна, Саблинка, Койровка, Славянка, но также в южной части Предглинтовой низменности, прилегающей к Балтийско-Ладожскому глинту. Важно отметить, что относительно низкие углы

склонов глинта (до 15^0) на рассматриваемой территории могут быть связаны с проявлением процессов оползания.

Обследование новых оползневых смещений на р. Славянке в г. Павловске (рисунок 2.7), выполненное автором летом 2013 года на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии, позволили судить о существенных изменениях состояния и свойств нижнекембрийских синих глин в зонах смещения.



Рисунок 2.7 – Оползневые деформации на склоне р. Славянки (г. Павловск)
(фотографии автора)

Отобранные в основании склона образцы синих глин характеризовались повышенной влажностью ($W = 0,32-0,33$) и пониженной плотностью ($\rho = 1,90 - 1,94$ т/м³), полученные величины показателей физических свойств синих глин в оползневом теле определяют высокую степень разуплотнения. При испытаниях в приборе ПНГ-1 влажность набухания достигла 0,49 при величине набухания 0,08, что позволяет отнести глины к слабонабухающим отложениям и свидетельствует о сохранении способности к набуханию у разуплотненных синих глин в основании склона.

Полученные в сдвижном приборе параметры сопротивления сдвигу синих глин ($c = 0,012-0,024$ МПа, $\varphi = 2-3^0$) позволили судить о потере их прочности и разрушении структурных связей в теле оползня.

Из чего можно сделать вывод о том, что синие глины в верхней части разреза в зонах смещения характеризуются как квазипластичные разности.

Необходимо отметить, что параметры сопротивления сдвигу глин в оползневом теле ниже, чем аналогичные характеристики для «паст» синих глин при той же влажности (0,31) ($c = 0,035 \div 0,040$ МПа при $\phi \rightarrow 0$). Такой «парадокс» может быть объяснен сохранением анизотропии механических свойств максимально разуплотненных синих глин за счет слоистости и микротрещиноватости в оползневом теле, а также их микробной пораженности [31]. О микробной пораженности синих глин свидетельствуют результаты микробиологических исследований, выполненные автором работы. Величина микробной массы (ММ), определенной по величине суммарного микробного белка (метод М. Бредфорда [59]), достигала 74,00 мкг/г.

Исследования оползней на р. Тосне в г. Никольское (рисунок 2.8, 2.9), выполненные автором данной работы летом того же года, показали близкие результаты. Синие глины в присклоновой части также обладали повышенной влажностью ($W = 0,25 - 0,28$) и низкими величинами плотности ($\rho = 1,99 - 2,04$ т/м³), характерными для набухших глин.



Рисунок 2.8 – Проявление оползневых процессов на склонах р. Тосны (фотографии автора)

Как и в предыдущем случае, набухшие синие глины могут быть отнесены к слабонабухающим, величина влажности набухания составила 0,35 при величине набухания 0,05, что свидетельствует о высокой гидрофильности этих глин и их циклическом разуплотнении в основании откоса.



Рисунок 2.9 – Парафинирование монолитов синих глин (фотографии автора)

Прочность глин характеризовалась следующим разбросом значений параметров, полученных в сдвижном приборе и стабилометре: величина сцепления варьировала в пределах 0,03-0,07 МПа, а угол внутреннего трения - от 0 до 8° . Модуль общей деформации, полученный в условиях трехосного сжатия, изменялся от 4,1 до 6,4 МПа. Такие значения показателей свидетельствует о высокой степени разуплотнения пород по плотности и влажности, а также о влиянии микротрещиноватости и прочности остаточных структурных связей на механические свойства синих глин.

Необходимо отметить, что испытанные монолиты также характеризуются относительно высокой микробной пораженностью (величина ММ достигала 82,00 мкг/г), которая оказывает негативное воздействие на прочность и деформационную способность синих глин, и может служить дополнительным фактором их перехода в квазипластичное состояние. Кроме того, следует обратить внимание на то, что изменение напряженного состояния исследуемого склона в г. Никольское происходит за счет застройки вблизи бровки откоса. В пределах склоновой части часто располагаются огороды полив которых приводит к разуплотнению и набуханию глин.

Исследования, проведенные автором данной работы, показали, что нижнекембрийские синие глины в областях оползневых деформаций характеризуются как разуплотненные разности с повышенной влажностью и низкими показателями прочности.

Зависимость величин сопротивления сдвигу и угла внутреннего трения синих глин от их влажности, представленная на рисунке 2.10, свидетельствует о

том, что в зонах развития оползневых деформаций нижекембрийские глины характеризуются увеличением влажности и более низкими параметрами сопротивления сдвигу по сравнению с этими же параметрами прочности в верхней зоне разреза Санкт-Петербургского региона в пределах Предглинтовой низменности (зона переменной влажности и плотности), полученными по результатам исследований Р.Э. Дашко.

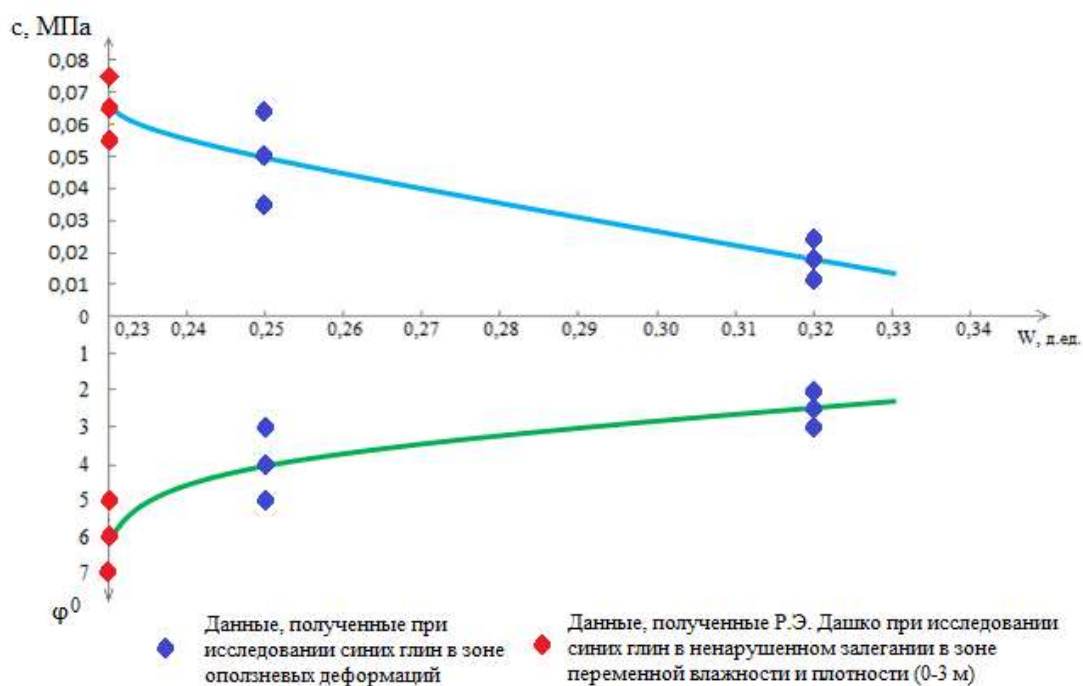


Рисунок 2.10 – Зависимость параметров сопротивления сдвигу и угла внутреннего трения синих глин от влажности

В свете изложенного, следует отметить, что для обеспечения рационального освоения и использования рассматриваемой территории, а также для предупреждения опасных геологических явлений необходима организация локального инженерно-геологического мониторинга на склонах и откосах особенно в пределах освоенной территории. Мониторинг должен обеспечивать постоянное поступление и обработку новых данных о морфологии и динамике развития оползневых процессов в пределах исследуемого региона. Для прослеживания динамики оползневых смещений целесообразно с помощью глубинных реперов и инклинометров наблюдать развитие деформаций ползучести в залегающих в теле оползня глинистых отложениях [86].

Применение современных инженерно-геологических и инструментальных наблюдений и технических средств, в том числе наземных геодезических, дистанционных, геофизических, геологических и гидрогеологических наблюдений, а также повторных топографических и инженерно-геологических съёмок, лабораторных исследований и т.д. позволит существенно повысить надежность и достоверность прогнозов длительной устойчивости склонов и откосов.

Прогнозирование длительной устойчивости склонов или откосов расчетными методами при их освоении на рассматриваемой территории возможно в рамках постоянного мониторинга при соблюдении следующих условий:

1. Определенная точность инженерно-геологического разреза (исследование изменения прочности пород в разрезе и прогнозирование возможного её снижения при воздействии подземных и поверхностных вод)
2. Исследование гидрогеологических условий (изменение гидродинамической обстановки с позиции варьирования гидродинамического давления)
3. Поиск поверхностей ослабления (оценка достоверности положения поверхности скольжения)
4. Получение достоверных физических и механических параметров (в первую очередь плотности, сцепления и угла внутреннего трения) и исследование их изменения во времени.

Противооползневые меры, применение которых на рассматриваемой территории позволит бороться с локальными проявлениями оползневых процессов, могут служить: охранно-ограничительные (пассивные, профилактические) и меры предупреждения (активные, специальные) [63].

В пределах Предглинтовой низменности мерами охранно-ограничительными являются: запрещение разного вида строительства, подрезки оползневых склонов, сброса ливневых, талых и сточных вод и т.д.

В качестве мер предупреждения против оползневой опасности для обеспечения устойчивости склонов и откосов, сложенных глинистыми породами, могут быть рекомендованы [63]:

1) террасирование и выполаживание откосов;

2) лесопосадки на склонах;

3) в качестве мероприятий по защите синих глин от атмосферных осадков и последующего их размокания может быть рекомендована укладка по всей обнаженной поверхности железобетонных плит и т.д.;

3) борьба с подмывом склонов речными водами – устройство подпорной стенки в виде массивной бетонной конструкции в нижней части откоса, подошва которой обычно закладывается ниже поверхности скольжения с учетом её смещения на более низкие отметки за счет дополнительной массы подпорной стенки или в виде ряда буронабивных армированных свай с глубиной их заложения с учетом возможного смещения поверхности скольжения.

2.3.2 Заболачивание и его влияние на инженерно-геологические характеристики подстилающих отложений с учетом физико-химических и микробных факторов

Существование в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона действующих либо снятых болотных массивов является одним из важных факторов, диктующим негативное преобразование подстилающих грунтов, а также возникновение и развитие ряда экзогенных процессов, в том числе биохимических.

Как уже отмечалось ранее, в условиях избыточно-влажного гумидного климата, преобладающего распространения с поверхности слабопроницаемых озерно-ледниковых и ледниковых отложений, а также нижнекембрийских синих глин, преимущественного развития равнинного слабо дренированного рельефа болота и заболоченные земли имеют широкое развитие по всей территории Предглинтовой низменности (рисунок 2.11).

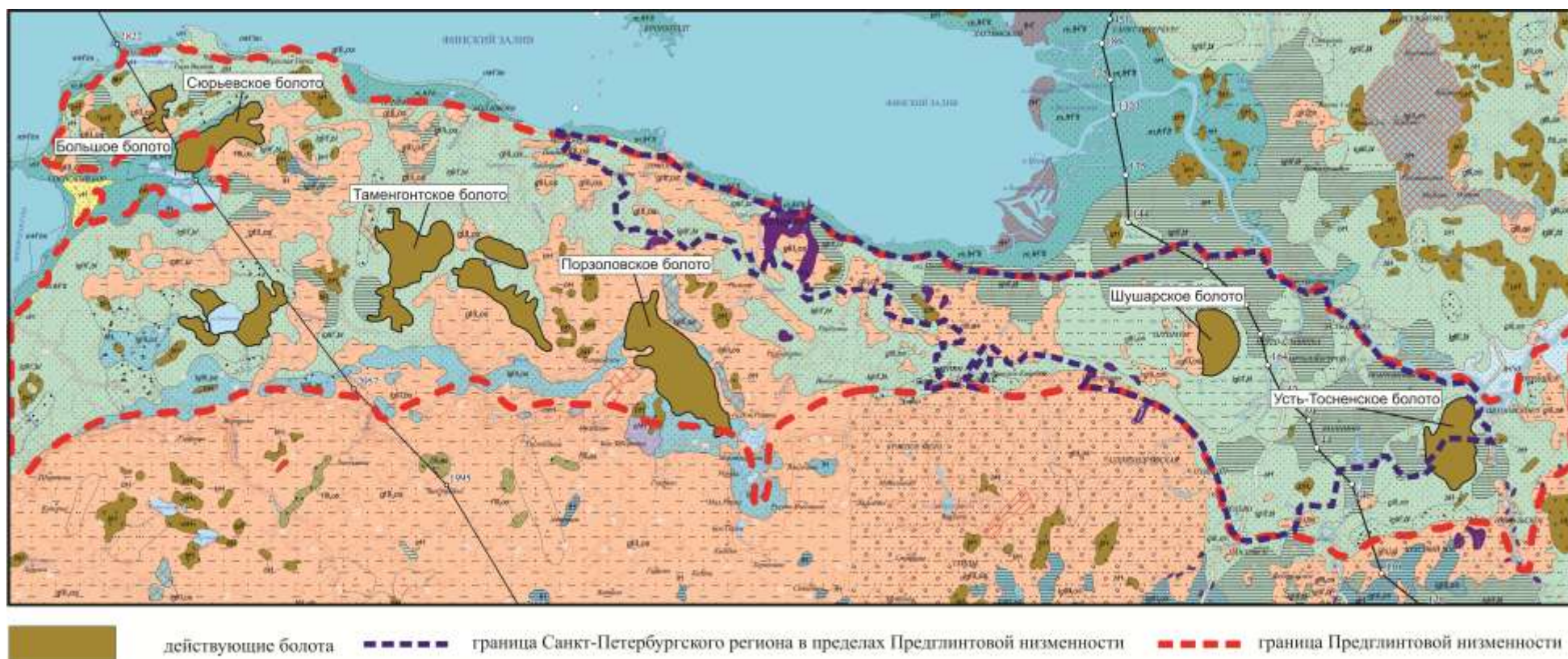


Рисунок 2.11 – Схематическая карта развития болотных массивов на территории Предглинтовой низменности

Ещё в конце XVIII в. большая часть рассматриваемой территории была заболочена, широкое развитие получили моховые болота и леса (рисунок 2.12).

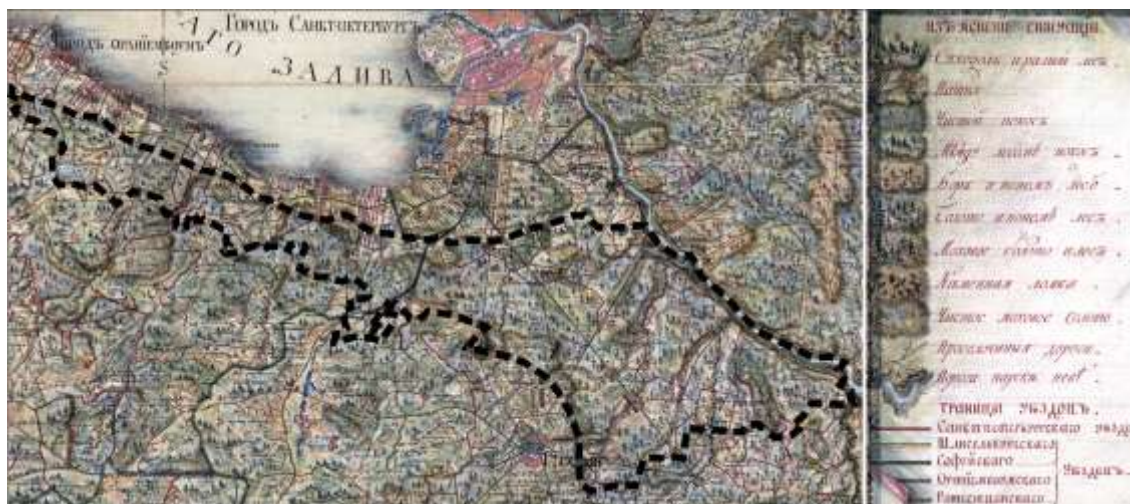


Рисунок 2.12 - Фрагмент карты Санкт-Петербургской губернии 1792 года

Согласно анализу исторических документов на различных этапах развития города производилось осушение болот путем создания дренажных каналов, болотные отложения частично снимались (полное снятие болотных отложений производилось при их мощности, не превышающей 2-3 м) или засыпались техногенными грунтами.

В настоящее время в рассматриваемом регионе действующими наиболее крупными болотными массивами являются Усть-Тосненское болото общей площадью 5,86 км², являющееся памятником природы и практически осушенное Шушарское болото (см. рисунок 2.11).

Существование болотных массивов является одним из важных природных факторов оказывающих влияние на специфику инженерно-геологической, гидрогеологической и геоэкологической ситуации в основании сооружений, а также на возникновение и развитие природных и природно-техногенных процессов. Проведенные в Горном университете исследования свидетельствуют о том, что наличие захороненных болот и торфяных отложений оказывает негативное влияние на подстилающую их толщу, которое прослеживается на глубину до 50 м [33].

В практике проектирования и строительства принято считать, что при снятии болотных отложений улучшаются инженерно-геологические условия

территории. Однако, известно, что под болотными отложениями в разрезе песчано-глинистых грунтов формируются своеобразные физико-химические и биохимические условия, наблюдается активизация микробиологической деятельности, которая даже после удаления болот продолжает оставаться достаточно интенсивной. Неустойчивое состояние отложений, залегающих под действующими, засыпанными или снятыми болотами, связано с их загрязнением органической компонентой биогенного и абиогенного генезиса, проникающей в них с инфильтрационным потоком [62].

Согласно исследованиям проф. Л. И. Рубенчика в болотах установлено наличие богатого природного микробиоценоза, представленного анаэробными (аммонифицирующими, сульфатредуцирующими, целлюлозоразлагающими), факультативными (денитрифицирующими) и аэробными (нитрифицирующими, тионовыми, целлюлозообразующими) формами [47, 69, 87].

Исследования, проведенные А.В. Головченко в конце XX века, подтверждают высокое содержание разнообразной микрофлоры в торфах (таблица 2.5).

Таблица 2.5 - Вес микробной биомассы и соотношение ее компонентов в различных торфяниках (А.В. Головченко, 1993) [11, 12, 47]

Тип торфяника	Мощность торфянка, м		Общий вес сухой биомассы, т/га	Микробная биомасса, %			
				грибной мицелий	споры грибов	актино-мицеты	бактерии
Низинный высокозольный	а	1,0	56	96,8	2,1	0,2	0,4
	б	3,0	435	98,9	0,7	0,1	0,3
Низинный нормальнозольный	а	1,0	21	89,7	7,0	0,6	2,6
	б	7,0	81	84,8	10,7	0,7	3,8
Верховой	а	1,0	8	57,1	25,4	1,6	15,9
	б	5,5	43	59,1	23,4	1,3	16,2
Примечание – Пересчет сухой биомассы: а) на 1,0 м; б) на всю указанную толщину торфов							

Проведенные в 2011 г. на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета, совместно с доктором биологических наук профессором СПбГУ Д.Ю. Власовым, микробиологические исследования торфов и

подстиляющих песчано-глинистых грунтов разреза Лахтинского болота подтвердили их высокую микробную пораженность по глубине. Описываемые отложения в верхней части разреза характеризовались высокой численностью бактерий ($n \cdot 10^6$ клеток в 1 грамме грунта) с преобладанием факультативных форм, в то время как по всему разрезу было зафиксировано наличие микромицетов (максимальная численность микромицетов в верхних горизонтах составила более 3000 клеток на 1 грамм субстрата) (таблица 2.6) [52].

Таблица 2.6 – Микробиологический анализ проб грунта в разрезе краевой зоны Лахтинского болота [37]

Глубина отбора	Описание и номер пробы	Генезис и возраст	Виды микромицетов	КОЕ микромицетов в 1 г грунта	ОМЧ* бактерий в 1 г грунта	
					Факультативы	Анаэробы
1	2	3	4	5	6	7
0,9-1,0	Торф среднеразложившийся	bIV	<i>Mucor racemosus</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Trichoderma viride</i>	600	$4,0 \times 10^6$	$3,4 \times 10^5$
4,0-4,1	Суглинок светло-коричневый легкий пылеватый с прослойками песка пылеватого, текучий	m, l IV	<i>Trichoderma viride</i> <i>Penicillium brevicompactum</i>	350	$2,5 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$
10,0-10,2	Суглинок светло-коричневый легкий пылеватый с прослойками песка пылеватого, текучий	lgIII	<i>Alternaria alternata</i> <i>Trichoderma viride</i> <i>Penicillium herqueri</i>	300	$2,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$
15,0-15,2	Суглинок светло-коричневый легкий пылеватый с прослойками песка пылеватого, текучий		<i>Cladosporium cladosporioides</i>	200	$1,6 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$
16,1-16,2	Супесь светло-коричневая легкая пылеватая, с включениями гальки гравия до 15% твердая	gIII	<i>Trichoderma viride</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Mucor plumbeus</i>	700	$8,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^6$
20,0-20,2	Супесь светло-коричневая легкая пылеватая, с включениями гальки гравия до 15% твердая		<i>Rhizopus stolonifer</i> <i>Penicillium herqueri</i> <i>Scytalidium lignicola</i> <i>Chaetomium globosum</i>	600	$4,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^6$

Примечание: - ОМЧ – общее микробной число

Работами, выполненными на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета в конце XX века, было установлено, что микробиологическая активность при разнообразии болотных биоценозов и активного техногенного воздействия приводит к негативным изменениям состава, состояния и физико-механических свойств песчано-глинистых отложений и коренных глин нижнего кембрия [29].

Микробиологическая деятельность, часто сопровождающаяся значительным наращиванием бактериальной массы, в большинстве случаев приводит к преобразованию структурных связей в песчано-глинистых породах за счет изменения интенсивности взаимодействия частиц между собой, образования бактериальной пленки (биопленки), играющей роль смазки и заполнения порового пространства [71]. Развитие микробной компоненты в грунтах способствует повышению содержания в них тонкодисперсной фракции, формированию тонкой пористости, снижению их проницаемости и водоотдачи ухудшению прочности и показателей деформационных свойств пород. При этом глинистые грунты переходят в квазипластичные разности, а песчаные породы – в пливуны.

Обогащению органической компонентой глинистой толщи на рассматриваемой территории и, как следствие интенсификации микробной деятельности, способствует трещиноватость коренных глин нижнего кембрия.

Воздействие торфов, а также возможность проникновения загрязнения в трещиновато-блочную среду коренных глин вызывает интенсивный рост микробной массы и способствует снижению их угла внутреннего трения до 5° , а сцепления до 0,035 МПа (таблица 2.7) [80].

Важно отметить, что исследования микробной пораженности синих глин, проведенные автором работы, позволили выявить тенденцию к проникновению микроорганизмов в толщу глин по макро- и микротрещинам. Содержание микробной массы (ММ) по величине суммарного белка составило 10,3 мкг/г в блоке и 72,0 мкг/г по поверхности трещин, что свидетельствует о переносе микроорганизмов и продуктов их метаболизма по системе трещин [31].

Таблица 2.7 – Изменение показателей сопротивления сдвигу и микробной пораженности нижнекембрийских синих глин под воздействием чистых и загрязненных нефтепродуктами торфов [80]

Порода	Микробная масса, мкг/г	Параметры сопротивления сдвигу	
		Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, МПа
Нижнекембрийские глины в условиях естественного залегания (фоновые значения)	25,3-33,9	15-18	0,05-0,09
Измененные нижнекембрийские глины под воздействием чистых торфов	68,7-83,3	13-15	0,040-0,045
Измененные нижнекембрийские глины под воздействием торфа с нефтепродуктами	90,8-102,9	5-8	0,035-0,041

Постепенное разуплотнение и разупрочнение глинистых отложений за счет физико-химических и биохимических процессов, протекающих в подземном пространстве исследуемого региона, создает условия для развития неравномерных и длительных осадок в основаниях сооружений различного назначения, что может вызвать их переход в аварийное или предаварийное состояние.

Микробная деятельность может также сопровождаться образованием биохимических газов, которые служат дополнительным фактором снижения прочности песчано-глинистых грунтов.

Присутствие органического вещества в верхней части разреза Предглинтовой низменности и высокая его обводненность обеспечивают благоприятные для деятельности газогенерирующих биоценозов окислительно-восстановительные условия.

Гетеротрофные бактерии могут разлагать органическое вещество, в том числе растительные остатки, до простейших соединений газов (CH_4 , N_2 , CO_2 , H_2 и H_2S) [101].

Активизация микробиоты в бескислородной среде отражается не только в газонасыщении подземных вод, но и в изменении их состава, агрессивности, а также специфике преобразования грунтов на большую глубину [69].

Газонасыщение дисперсных грунтов приводит к изменению их напряженно-деформируемого состояния и, следовательно, к разуплотнению и снижению прочности пород. Для песчаных разностей наличие малорастворимых газов способствует их переходу в плавунное состояние. Высокие же содержания растворимых газов способствуют повышению агрессивности подземных вод и негативно влияют на конструкционные материалы – бетоны (CO_2 и H_2S) и металлы (H_2S) [3, 69].

В пределах исследуемой территории причиной активизации биохимической газогенерации служат природные и природно-техногенные факторы (рисунок 2.13). Несмотря на то, что чаще всего в рассматриваемом регионе причиной генерации биохимического газа служат такие природно-техногенные факторы как засыпка болот, гидросети, а также наличие свалок хозяйственно-бытовых отходов, иловых осадков очистных сооружений, кладбища и т.д., наибольшую опасность в отношении природного биохимического газообразования представляют обогащенные органическим веществом микулинские слои морских осадков, которые прослеживаются в юго-восточной части Санкт-Петербурга и приурочены к погребенным долинам (Обухово, Рыбацкое).

В соответствии с результатами проводимой в течение 1994-2008 гг. комплексной газогеохимической съемки в пределах Санкт-Петербургского региона были выделены наиболее вероятные зоны образования биохимического газа в грунтах (см. рисунок 2.13).

Биохимическая природа образования газов может быть доказана проведением изотопного анализа, наличие легких изотопов C, S, N служит свидетельством микробной генерации.

Привнос большого количества загрязнителей, а также техногенного легко окисляемого органического вещества и активной микрофлоры в толщу песчано-глинистых отложений за счет перманентных утечек из городской канализационной системы приводит к изменению гидрохимического режима болотных массивов и активизации процессов биохимического газообразования.



Рисунок 2.13 Схематическая карта распространения и проявления природно-техногенных факторов контаминации подземной среды Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона

При техногенном загрязнении болотных вод сульфатами имеет место процесс восстановления серы при участии сульфатредуцирующих микроорганизмов, которые характерны для болотных отложений, где существует благоприятная среда для их жизнедеятельности, что приводит к образованию сероводорода и формированию гидротроилита [47, 69].

Необходимо отметить, что канализационно-бытовые стоки имеют повышенную температуру, что отражается в ускорении развития биохимических процессов.

Следует учитывать также высокий уровень загрязнения подземного пространства Санкт-Петербургского региона нефтепродуктами, которые могут быть использованы многими гетеротрофными микроорганизмами как источник углерода. Отепляющий эффект различных подземных коммуникаций также способствует активизации микробиологической деятельности [88].

2.3.3 Развитие пливунов

На территории исследуемого Санкт-Петербургского региона песчаники ломоносовского горизонта верхнего венда - нижнего кембрия, разрушенные до состояния песков, а также водонасыщенные песчано-глинистые грунты различного, как правило, межледникового озерного, озерно-ледникового и флювиогляциального генезиса обладают пливунными свойствами (рисунок 2.14), что создает значительные трудности при строительстве и обеспечении длительной устойчивости сооружений различного назначения.

Необходимо различать истинные и ложные пливуны. К истинным пливунам относят тонкозернистые (0,1 – 0,05 мм) и мелкозернистые (0,25 – 0,1 мм) пылеватые водонасыщенные песчаные разности, часто содержащие органическое вещество, которые проявляют свои пливунные свойства при вскрытии их подземными выработками, устройстве котлованов. Пески-пливуны характеризуются низкими величинами угла внутреннего трения ($\varphi = 3-4^0$), высокой пористостью (40 – 56%), низкими значениями коэффициента фильтрации (от 10^{-3} м/сут до первых м/сут) и низкой водоотдачей [33].



Рисунок 2.14 – Схематическая карта распространения в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона грунтов, обладающих плавунными свойствами

К ложным плавунам могут быть отнесены водонасыщенные пески различного гранулометрического состава, а также песчаники, разрушенные до состояния песков, которые под влиянием гидродинамического давления переходят в плавунное состояние, и в отличие от истинных плавун поддаются дренированию.

Как уже было отмечено ранее, помимо гранулометрического состава одним из наиболее важных факторов перехода песчаных разностей в плавунное состояние является наличие абиогенного и биогенного органического вещества, которое формирует специфическую физико-химическую и биохимическую обстановку в обводненной толще песчано-глинистых грунтов. Развитие микробной компоненты в песчаных грунтах приводит к увеличению содержания тонкодисперсной фракции, способствует формированию тонкой пористости наряду со снижением их водоотдачи и проницаемости (таблица 2.8) [33, 48].

Таблица 2.8 – Изменение величины коэффициента фильтрации (K_f) среднезернистых песков от содержания микробной массы (ММ)[33]

ММ, мкг/г	6	28	62	105	130	140
K_f , м/сут	4	10^{-1}	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$

Проведенные ещё в 70-х годах XX в. исследования В.В. Радиной показали, что в результате микробной деятельности водонасыщенные пески, не обладающие плавунными свойствами, в течение короткого времени могут переходить в состояние истинных плывунов.

Кроме того, накопление в толще песчаных грунтов малорастворимых газов приводит к повышению давления в поровом пространстве песков, значительному их разуплотнению, снижению угла внутреннего трения вплоть до их перехода в состояние тяжелой жидкости.

Следует также отметить, что постепенное повышение величины микробной массы (ММ) способствует значительному снижению коэффициента фильтрации средне- и мелкозернистых песков с относительно невысоким содержанием пылевой фракций, которые в состоянии полного водонасыщения будут проявлять ярко выраженные свойства плывунов (рисунок 2.15).

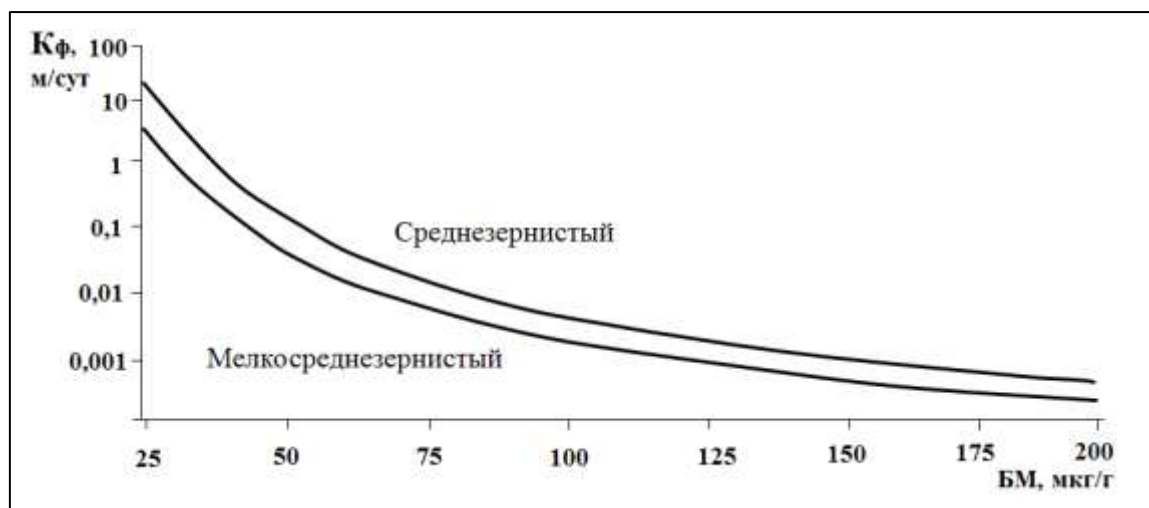


Рисунок 2.15 - Изменение величины коэффициента фильтрации песков в процессе роста микробной массы [70]

При проходке таких отложений необходимо учитывать возможность мгновенного оплывания стенок скважины, выталкивание бурового инструмента и др.

Развитие плавунцов наблюдается в грунтах, где имеются или поступают извне питательные вещества для микроорганизмов и существуют благоприятные условия не только для развития микробиоты, но и накопления продуктов их жизнедеятельности.

Необходимо отметить, что изменение условий существования микробных систем (источников питания, E_h и pH среды, температуры и др.) не вызывает гибели биоценозов, а приводит к изменению численности отдельных видов микроорганизмов, смене ролей основных и сопутствующих групп бактерий или их приспособлению к новым условиям [70].

Развитие плавунцов на рассматриваемой территории Предглинтовой низменности обусловлено наличием погребенных долин, где формируются особые гидродинамические условия, наблюдается аккумуляция загрязнения и негативное преобразование песчано-глинистых пород; наличием водонасыщенных раздробленных до состояния песков песчаников ломоносовской свиты, находящихся под действием напоров ломоносовского водоносного горизонта, а также наличием природных и природно-техногенных источников контаминации подземного пространства исследуемого региона (свалки ТБО, кладбища, погребенные и действующие болота, утечки из канализационной сети и т.д.).

Так, например, проявление истинных плавунцов наблюдалось в основании здания городской детской больницы №22 в г. Колпино, испытывающего значительные и неравномерные осадки вследствие присутствия непосредственно под фундаментом толщи пылеватых водонасыщенных песков. Способность песков переходить в состояние тяжелой жидкости определялась по косвенному показателю – величине седиментационного объема, который составил 20-22 см³. Наличие природных и природно-техногенных источников загрязнения микробной компонентой пород основания, а также особенности гидродинамических условий обусловили формирование зыбучих свойств песков. Высокая микробная пораженность толщи пылеватых песков предопределила их низкие значения прочности.

Анализ причин перехода здания больницы №22 в предаварийное состояние приведен в пункте 3.4.

2.4 Выводы к главе 2

1. На основе выполненных на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета исследований при участии автора произведена диагностика и составлена систематизация действующих и прогнозируемых природных и природно-техногенных процессов в подземном пространстве Санкт-Петербургского региона в пределах Предглинтовой низменности. Все диагностируемые процессы по степени опасности, с точки зрения обеспечения надежности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения, условно разделены на три группы: ПОЭ – проблематично опасные эндогенные процессы; ОЭкз – опасные экзогенные процессы и явления; С_нЭкз – экзогенные процессы со средним и низким уровнями опасности.

2. Проявление и динамика таких эндогенных процессов как радоноопасность и явления «глиняного диапиризма», определяется расположением исследуемого региона в пределах тектонически напряженной геодинамической области, что, в свою очередь, обеспечивает наличие большого числа тектонических нарушений в коренных породах осадочной толщи, которые предопределяют их состояние и свойства. Высокий уровень радоноопасности на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области обусловлен наличием в разрезе осадочной толщи горных пород, руд, минералов с повышенным содержанием урана, радия и тория, а также миграцией радона в зонах тектонических нарушений. Влияние радиационного излучения на многокомпонентное подземное пространство Предглинтовой низменности выражается в изменении параметров физических и механических свойств горных пород, протекании радиолиза поровой воды и активизации микробной деятельности. Проведенный анализ распространения и причин возникновения явлений глиняного диапиризма в пределах Предглинтовой низменности позволил предположить, что образование локальных поднятий на рассматриваемой территории (урочище Большой Симоногонт, ряд структур в Ломоносовском и

Петродворцовом районах) произошло в период активизации тектонической деятельности, когда в пределах узлов тектонических разломов происходило выдавливание нижнекембрийских синих глин. Выдавливание глин определило разрушенность структурных связей в этой породе, что наложило свой отпечаток на ее водоустойчивость, прочность и деформационные способности. Выявленные особенности инженерно-геологических условий, обусловленные развитием диапировых структур в разрезе осадочной толщи, диктуют необходимость особого подхода к оценке состояния и свойств коренных пород в нарушенном залегании.

3. Распространение и развитие экзогенных процессов в пределах рассматриваемой территории обусловлены её геолого-морфологическими и гидрометеорологическими особенностями, трещиноватостью коренных пород разреза, наличием мощной толщи слабых песчано-глинистых водонасыщенных отложений в пределах палеодолин, гидродинамическим режимом водоносных горизонтов, влиянием различных источников контаминации подземного пространства, а также техногенной деятельностью. Согласно проведенным исследованиям к наиболее распространенным в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона экзогенным процессам со средним и низким уровнями опасности отнесены процессы боковой (речной) эрозии и подтопление. Речная эрозия проявляется на всех реках рассматриваемой территории, способствуя развитию оползневых деформации вдоль крутых склонов рек. Подтопление приводит к дополнительному ухудшению состояния и свойств грунтов основания, изменению их напряженного состояния, что в свою очередь влияет на устойчивость сооружений. К наиболее опасным действующим и прогнозируемым процессам в пределах исследуемой территории относятся заболачивание, оползневые деформации, а также развитие плывунов. Проведенные на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии в рамках данной работы исследования показали, что нижнекембрийские синие глины в областях развития оползневых деформаций характеризуются увеличением влажности и более низкими параметрами сопротивления сдвигу по сравнению с этими же

прочностными параметрами в верхней зоне разреза Санкт-Петербургского региона в пределах Предглинтовой низменности (зона переменной влажности и плотности). Заболачивание является одним из основных процессов, диктующим негативное преобразование подстилающих грунтов, а также возникновение и развитие ряда экзогенных процессов, в том числе биохимических, за счет привноса биогенной и абиогенной природной компоненты в подземное пространство рассматриваемого региона и активизации микробной деятельности. Плывунами свойствами в пределах описываемой территории обладают песчано-глинистые грунты различного генезиса, развитые в палеодолинах и в зонах контаминации, а также коренные песчаники ломоносовского горизонта, разрушенные в зонах разломов до состояния песков. Прогнозирование таких экзогенных процессов как заболачивание, оползневые деформации, а также развитие плывунов играет главную роль при обеспечении безопасного строительства и эксплуатации сооружений различного назначения на территории Предглинтовой низменности.

ГЛАВА 3 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН ПЕРЕХОДА СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРЕДАВАРИЙНОЕ И АВАРИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НИЖНЕКЕМБРИЙСКИМИ СИНИМИ ГЛИНАМИ

3.1 Исследование причин перехода в аварийное состояние гражданских зданий в Пушкинском районе и г. Никольское

Как уже отмечалось ранее, инженерно-геологический разрез Предглинтовой низменности, расположенной в южной части Санкт-Петербургского региона между южным берегом Финского залива и Балтийско-Ладожским глинтом, имеет относительно простое геолого-литологическое строение: нижнекембрийские синие глины выходят на дневную поверхность, либо перекрыты маломощным покровом четвертичных отложений, увеличение которого происходит только в зонах погребенных долин.

Соответственно, в пределах Предглинтовой низменности синие глины часто служат естественным основанием для гражданских сооружений, в частности в г. Пушкине и Никольском, где при возведении, а также эксплуатации зданий наблюдалось их разрушение либо развивались длительные неравномерные осадки, приводящие к переходу зданий в аварийное состояние.

Анализ опыта строительства и эксплуатации различных сооружений показывает, что в ряде случаев развитие предаварийных и аварийных ситуаций происходит из-за неучета зонального строения и трещиноватости этих глин, служащих основанием, и их высокой степени уязвимости по отношению к различным контаминантам, в частности, к воздействию утечек из канализационной сети. Инженерно-геологическая оценка нижнекембрийских синих глин с учетом их зонального строения и изменения степени трещиноватости была дана в разделе 1.3.

Необходимость учета изменения состояния и свойств синих глин по глубине, прежде всего их трещиноватости можно продемонстрировать на

основании инженерно-геологического анализа перехода ряда возводящихся и эксплуатируемых сооружений в аварийное состояние.

3.1.1 Анализ перехода в аварийное состояние жилого 9-этажного здания серии I-Лг-600, построенного в Пушкине в конце XX в.

Здание было запроектировано как конструкция с поперечными несущими стенами, расположенных на расстоянии 6 м, на ленточных фундаментах шириной $b = 2$ м с погонной нагрузкой на единицу длины фундамента $P = 600$ кН/м и глубиной заложения фундамента $h_{\phi} = 1,5$ м. Действующее давление от 9-этажного здания ($p_{\text{соор}}$) составило 0,3 МПа, при учете заглубления фундамента и быстрой замены веса вынудой породы из котлована $p_{\text{соор}}$ снизилось до 0,27 МПа. В основании сооружения залегали синие глины с влажностью (W) 0,24 и плотностью (ρ) 2 т/м^3 (величина влажности практически совпадала с влажностью на пределе раскатывания ($W_p = 0,243$), т.е. в зоне несущего слоя порода находилась в твердом состоянии) [28].

После возведения 6-го этажа жилого здания началось активное развитие неравномерных осадок. Однако было принято решение продолжить строительство, которое сопровождалось подводкой коммуникаций, в том числе и водопроводной системы. Отмечалось, что деформации по мере повышения этажности затухнут.

На завершающей стадии строительства после завершения 9-го этажа наблюдалась резкая активизация развития деформаций в пределах всего контура сооружения. Разность осадок в продольном направлении составила 50 см, в поперечном 22-30 см. При таких больших и неравномерных осадках начали рваться водопроводные трубы, и, следовательно, заливаться подвал здания, что привело к выдавливанию глин и отклонению здания от вертикальной оси на 27^0 (рисунок 3.1). Рассматривался вопрос о ремонте здания, либо его ликвидации, которое впоследствии было разрушено методом камуфлетного взрывания.

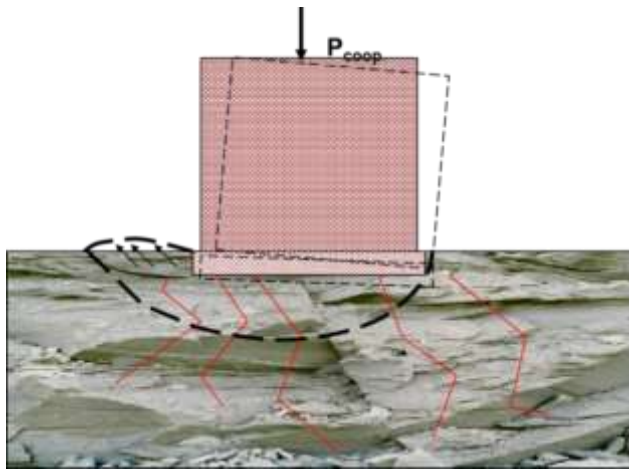


Рисунок 3.1 - Выдавливание синих глин в пределах всего контура здания

В проведении экспертизы причин перехода здания в аварийное состояние принимали несколько организаций. Было выполнено контрольное бурение в основании здания, которое установило, что свойства глин меняются по глубине зонально. В разрезе отчетливо прослеживалось три слоя, которые отличались по влажности, плотности и состоянию. Верхний слой, мощностью

2,0-2,5 м, является наиболее разуплотненным, он характеризовался влажностью равной 0,24 – 0,28, наибольшие значения отмечались до глубины в один метр. Средний слой до глубины 6-8 м имел влажность 0,21 – 0,24, а ниже влажность пород существенно уменьшалась, и синие глины характеризовались как достаточно плотные и прочные разности.

По характеру изменения параметров физических свойств, выделенные в толще глин верхний и средний слои относятся к зоне переменной влажности и плотности глин в ненарушенном залегании (см. пункт 1.3, таблица 1.3).

Параметры сопротивления сдвигу определялись согласно действующим в то время ГОСТам в одноплоскостных приборах по схемам дренировано-неконсолидированного и дренировано-консолидированного испытаний. Результаты лабораторных исследований механических свойств синих глин, приведены в таблице 3.1

При использовании полученных параметров сопротивления сдвигу было определено расчетное сопротивление (R), величина которого варьировала в пределах 0,28-0,32 МПа и превышала давление от сооружения, что характеризует работу глин в основании в пределах линейно-деформируемой среды при условии развития затухающих деформаций. Результаты расчета второго критического давления, которое составило 0,45 МПа, исключали возможность выпора грунта из-под сооружения.

Таблица 3.1 – Величины расчетных сопротивлений и второго критического давления в зависимости от параметров сопротивления сдвигу, полученные при проведении экспертизы 9-этажного жилого дома несколькими организациями [18]

Условия испытания (прибор)	Схема испытания	Параметры сопротивления сдвигу синих глин		Значения расчетного сопротивления (R) и второго критического давления (p_2)	
		c, МПа	ϕ , град	R, МПа	p_2 , МПа
Срезной прибор	ДН*	0,047	10	0,32	0,45
	ДК*	0,023	18	0,28	0,45
*схемы испытания: ДН – дренировано-неконсолидированная, ДК – дренировано-консолидированная					

Тем не менее, при проведении экспертизы потери устойчивости сооружения этими организациями не учитывалось, что синие глины должны рассматриваться как трещиновато-блочная среда. При испытаниях таких глин в лабораторных условиях следует учитывать существование в них микротрещиноватости, которая влияет на показатели сопротивления сдвигу, а также деформационные свойства глин и проявляется при использовании аппаратуры, в которой образец деформируется и разрушается при возможности бокового расширения. В то время как в сдвижном приборе при отсутствии возможности боковых деформаций наличие вертикальных и наклонных микротрещин не влияет на результаты испытаний.

При проведении экспертизы в Горном университете в испытаниях образцов для получения параметров сцепления и угла внутреннего трения был использован прибор трехосного сжатия, позволяющий испытывать образцы диаметром (d) 5,5 см и высотой (h) 11 см. Значения всестороннего давления соответствовали реальным нагрузкам с учетом давления от сооружения и собственного веса пород. В рассматриваемом случае при $H/b > 0,25$ (H – мощность сжимаемой толщи и b – ширина фундамента) деформация пород в основании сооружений происходит при возможности их бокового расширения, когда в наибольшей степени проявляется влияние микро- и макротрещиноватости на снижение прочности пород, следовательно показатели, полученные в приборах трехосного сжатия в

наибольшей степени отвечают реальным условиям работы глин в основании здания [38].

Результаты испытаний прочности синих глин в условиях трехосного сжатия по недренировано-неконсолидированной схеме и в одноплоскостных приборах, полученные в ходе экспертизы, проводимой в Горном университете, представлены на рисунке 3.2.

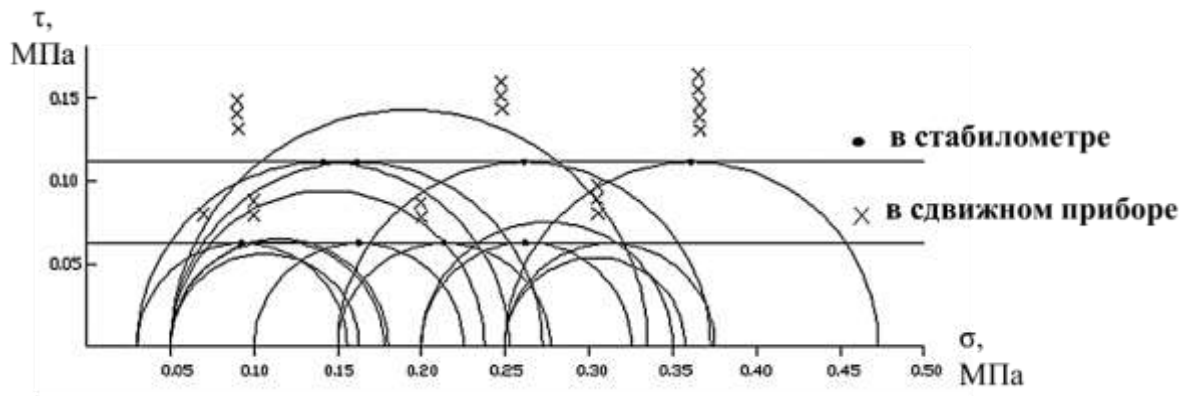


Рисунок 3.2 – Диаграммы прочности нижекембрийских синих глин
($W = 0,22 - 0,25$) [38]

Как следует из анализа рисунка 3.2 все точки, полученные в одноплоскостных срезных приборах, лежат выше, чем данные испытаний в стабилометре. Значительный разброс прочности объясняется варьированием влажности, плотности, степенью сохранения структурных связей и, прежде всего, микротрещиноватостью синих глин. Сцепление этих отложений по результатам трехосных испытаний изменялось в пределах от 0,065 до 0,11 МПа при угле внутреннего трения 3^0 и менее.

Следует отметить, что в условиях трехосного сжатия образцы синих глин деформировались и разрушались как квазипластичные разности, определение прочности проводилось в диапазоне всесторонних давлений 0,03-0,25 МПа. Эти данные определяют естественную прочность синих глин в диапазоне влажностей 0,22 – 0,25 [38].

Поскольку синие глины обладают ярко выраженной микротрещиноватостью, которая должна учитываться при назначении расчетных параметров прочности, необходимо было использовать коэффициент

структурного ослабления (при невозможности проведения крупномасштабных полевых определений).

Как известно коэффициент структурного ослабления пород (λ) может быть определен согласно методике ВНИМИ по формуле, предложенной Г.Л. Фисенко:

$$\lambda = \frac{1}{1+a \ln \frac{H}{l}}, \quad (3.1)$$

где λ – коэффициент структурного ослабления; a – коэффициент, зависящий от прочности пород в образце, степени и характера трещиноватости (для глинистых пород $a = 2$); H – глубина поверхности скольжения; l – размер блока в пределах от 0,15 до 0,25 м.

При условии, что значение H не превышает 1,5 м, коэффициент структурного ослабления варьирует в зависимости от размера блока в достаточно узких пределах 0,46-0,50, при среднем значении 0,48.

Параметры сопротивления сдвигу несущего слоя, полученные при стабиллометрических испытаниях с внесением коэффициента структурного ослабления в величину сцепления за счет мелкой блочности породы составили $c_T = 0,031 - 0,053$ МПа, $\varphi = 0-3^\circ$, т.е. среднее значение параметра сцепления не превышало 0,042 МПа.

Расчет критического давления (расчетного сопротивления) для фундаментов неглубокого заложения может быть осуществлен по формуле теории пластичности Л. Прандтля:

$$p = \pi c + \gamma h_\phi, \quad (3.2)$$

где c – сцепление пород основания с учетом макро- и микротрещиноватости, γ – плотность пород выше отметки заложения фундамента, h_ϕ – глубина заложения фундамента.

Формула Л. Прандтля для определения второго критического давления при описываемых условиях имеет следующий вид:

$$p = (\pi + 2)c + \gamma h_\phi \dots \dots \dots (3.3)$$

Полученные параметры сопротивления сдвигу использовались в расчетах первого критического давления, выполненных по формуле 3.2, что привело к снижению расчетного сопротивления почти в 2 раза ($p_1 = R = 0,162$ МПа) [38].

Второе критическое давление, рассчитанное по формуле 3.3, составило 0,24 МПа, и оказалось меньше величины действующего давления от 9-этажного здания ($p_{соор}$) при учете заглубления фундамента и быстрой замены веса вынудой породы из котлована (рисунок 3.3), что объясняет наблюдаемую неравномерную деформируемость пород по всему контуру здания.

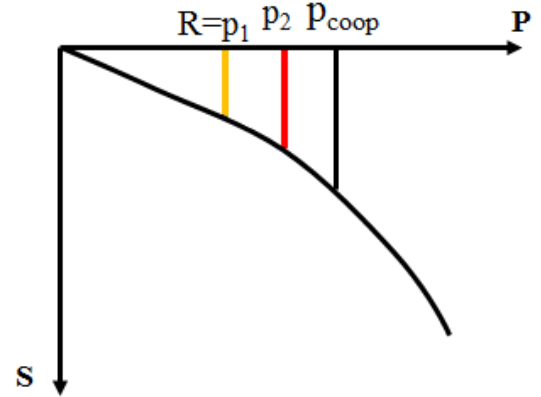


Рисунок 3.3 – График зависимости осадка-нагрузка (кривая Н.М. Герсеванова)

На основании выполненного анализа может быть объяснен положительный эффект уширения фундаментов в 2 раза для 9-этажного здания в г. Петродворце, которое возводилось в аналогичных условиях. Строительство жилого здания было приостановлено также на уровне 6-го этажа в связи с развитием значительных осадок. Уширение фундамента привело к уменьшению действующего давления от сооружения ($p_{соор}$) до 0,15 МПа, а с учетом заглубления фундамента до 0,12 МПа, т.е. $p_{соор} < R = p_1$ ($R = 0,162$ МПа). Спасенное здание успешно эксплуатируется по сей день [30].

3.1.2 Анализ перехода в аварийное состояние жилого 9-этажного здания серии I-Лг-600, построенного в г. Никольское

Жилой дом, также как и здание в г. Пушкине, был запроектирован на ленточных фундаментах шириной $b = 2$ м с погонной нагрузкой на единицу длины фундамента $P = 600$ кН/м и глубиной заложения фундамента $h_f = 1,5$ м. Действующее давление от 9-этажного здания ($p_{соор}$) с учетом заглубления фундамента составило 0,30 МПа. Параметры физических свойств синих глин, служащих основанием сооружения, свидетельствовали о ненарушенном

залегании глинистой толщи ($W = 0,24$, $\rho = 2 \text{ т/м}^3$). Здание было построено без бетонных полов в подвале, где была проложена канализационная система.

После возведения, а также при дальнейшей его эксплуатации в течение 5 лет, здание испытывало большие и неравномерные осадки, связанные с тем, что в основании сооружения залегали трещиноватые синие глины. Превышение действующего давления от сооружения над величиной расчетного сопротивления привело к интенсификации развития деформаций перекоса несущих стен и, как следствие, к сползанию перекрытий, а также к повреждению труб систем водоотведения, проложенных в подвале (рисунок 3.4).

Подвал дома был подтоплен канализационными стоками, инфильтрация которых наблюдалась по трещинам в зоне основания, что вызвало негативное преобразование синих глин. Длительность и специфический состав стоков определяют изменение состояния и физико-механических свойства глинистой толщи. Краткий усредненный химический и биохимический состав канализационных стоков приведен в таблице 3.2.

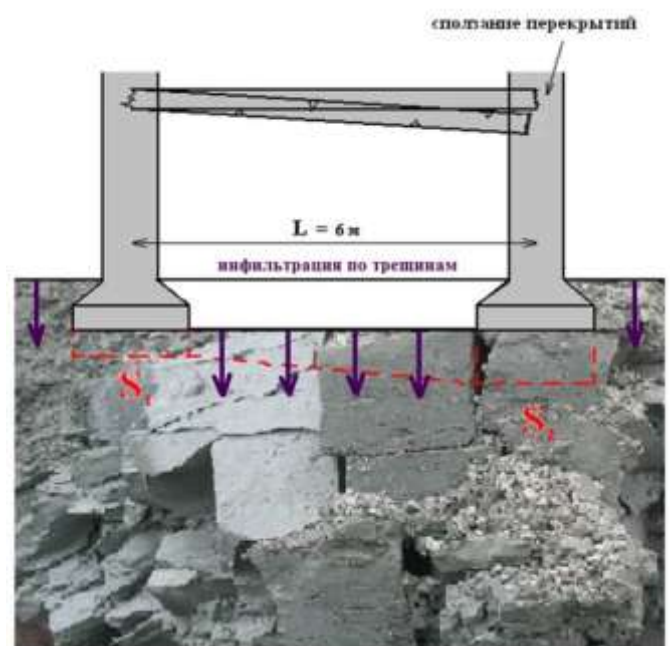


Рисунок 3.4 – Сползание перекрытий, инфильтрация канализационных стоков в толщу синих глин

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.

Таблица 3.2 – Химический и биохимический состав канализационных стоков [15]

Загрязняющий компонент	Содержание мг/л	Примечание
Взвешенные вещества	300-416	Содержание минеральных веществ во взвесах – 42%, органических – 58%. 1 мл фекальных стоков содержит $10^7 - 10^8$ бактериальных клеток, присутствуют также грибные культуры и микроскопические водоросли
Азот аммонийный	58-67	
Хлориды	67-75	
Фосфаты (P_2O_5)	12,5-16,0	
Калий (K_2O)	25,0	
Окисляемость (O_2)	42-58	
БПК ₂₀	291-416	

Изменение биохимических условий в процессе воздействия канализационных стоков на синие глины, вызванные, главным образом, диспергирующим влиянием иона NH_4^+ , ростом биомассы микроорганизмов и продуктов их метаболизма, резко активизирует процесс их набухания, и как следствие, разуплотнение и постепенную потерю их несущей способности.

Для выяснения причин разрушения здания было выполнено контрольное бурения и отобраны образцы синих глин, которые в дальнейшем исследовались на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета. В подвале здания в зоне основания силами специалистов кафедры основания и фундаменты (ныне кафедры геотехники) Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета было проведено динамическое зондирование, в процессе которого зонд без пригрузки погрузился на 8,0 м [31].

При осуществлении экспертизы в Горном университете было установлено, что в зоне основания в синих глинах произошло снижение их угла внутреннего трения до 6° , а сцепления — до 0,05 МПа и менее.

В дальнейшем на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии был поставлен эксперимент взаимодействия синих глин с канализационными стоками, пробы которых были отобраны в подвале аварийного здания. Сравнительная оценка особенностей процесса набухания синих глин в канализационных стоках и в воде приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Влияние канализационных стоков на величину, время, влажность и давление набухания [83]

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	18,5/6	24/41	37	43	0,35	>0,5

В хозяйственно-бытовых стоках наблюдалась значительная интенсификация процесса набухания синих глин, а также возросли влажность, давление и длительность набухания. При этом прочность синих глин снижалась в 5 раз и более в условиях их свободного набухания.

Основываясь на результатах экспертизы, можно утверждать, что переход здания в аварийное состояние наблюдался по причине неучета трещиноватости синих глин и, как следствие, некорректной оценки параметров физико-механических свойств синих глин, которые использовались в расчетах устойчивости этого здания на стадии проектирования и, соответственно, возможности развития больших и неравномерных осадок. Было принято решение о сносе здания.

На основе приведенного выше анализа можно сделать вывод о том, что при проектировании сооружений, в частности гражданского строительства, на нижнекембрийских глинах, необходимо осуществлять проходку шурфов до отметки заложения фундамента и ниже его для определения степени дезинтеграции толщи синих глин, а также полевые определения их прочности. Следует рекомендовать определение прочности и деформационной способности при производстве лабораторных исследований только в условиях трехосного сжатия с возможностью бокового расширения для оценки влияния микротрещиноватости, проведение исследований масштабного эффекта, а также учета макротрещиноватости с помощью полевых испытаний, либо использования специальных коэффициентов структурного ослабления.

3.2 Инженерно-геологическая оценка устойчивости транспортных сооружений на примере автомобильного тоннеля неглубокого заложения, выемки и насыпи в пределах КАД

Как уже указывалось ранее, в пределах Предглинтовой низменности действуют и прогнозируются различные эндогенные и экзогенные геологические процессы, влияющие на обеспечение длительной устойчивости проектируемых и эксплуатируемых сооружений различного назначения, в том числе транспортных.

Такие природные процессы как оползни и «глиняный диапиризм» нарушают условия естественного залегания синих глин, служащих основанием, либо средой размещения транспортных сооружений, что непосредственно влияет на состояние и свойства этих глин.

Необходимость учета на стадии проектирования особенностей формирования рельефа и анализа действующих геологических процессов можно продемонстрировать на основании инженерно-геологического анализа перехода ряда возводимых и эксплуатируемых транспортных сооружений в предаварийное и аварийное состояние.

3.2.1 Анализ перехода транспортной тоннельной конструкции неглубокого заложения в предаварийное состояние

В июле 2007г. ООО «Гидроэнергостройпроект» были выполнены инженерно-геологические изыскания с целью исследований инженерно-геологических условий строительства автодорожного тоннеля расположенного на примыкании автодороги на г. Пушкин к магистрали М-20 «Санкт-Петербург - Киев (Пулковское - Киевское шоссе).

На основе проведенных изысканий был разработан проект строительства тоннельной конструкции неглубокого заложения, которая начала эксплуатироваться с 2008 года по настоящее время (рисунок 3.5).

Рассматриваемый тоннель, пройденный открытым способом в траншее максимальной глубиной заложения 7,1 м – 8,0 м со стороны Киевского шоссе и 8,5 – 9,2 м со стороны Ленинградского шоссе, размещается в пределах южной части Предглинтовой низменности [25].



Рисунок 3.5 – Транспортный тоннель на участке г. Пушкин – пос. Дони в административных границах Санкт-Петербурга.

Тоннельная конструкция выполнена в монолитной железобетонной обделке из отдельных секций, разделенных деформационными швами. Общая длина тоннеля составляет 515,0 м (13 секций) в том числе: рампа со стороны Санкт-Петербурга – 187,3 м (5 секций), закрытая часть – 88,7 м (2 секции), рампа со стороны г. Пушкина – 239,0 м (6 секций). Ширина тоннеля – 11,25, высотный габарит тоннеля 5,0 м [22, 94].

По данным изысканий, выполненных при проектировании тоннеля, разрез территории строительства представлен четвертичными отложениями небольшой мощности и нижнекембрийскими синими глинами, в которых располагается большая часть тоннеля (рисунок 3.6).

На стадии проектирования транспортного тоннеля не был выполнен геоморфологический анализ предполагаемой территории строительства, следовательно, не учтены особенности формирования рельефа и структурно-тектоническая обстановка [26].

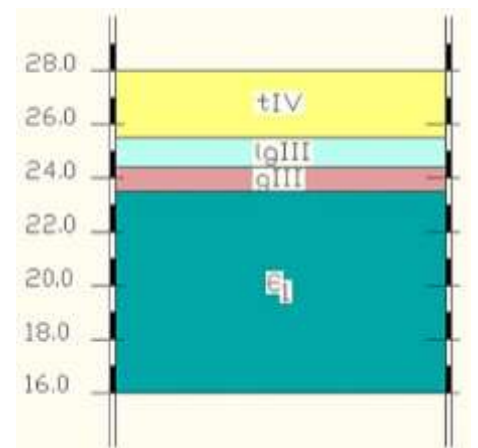


Рисунок 3.6 – Схематический разрез по результатам изысканий, выполненных на стадии проектирования

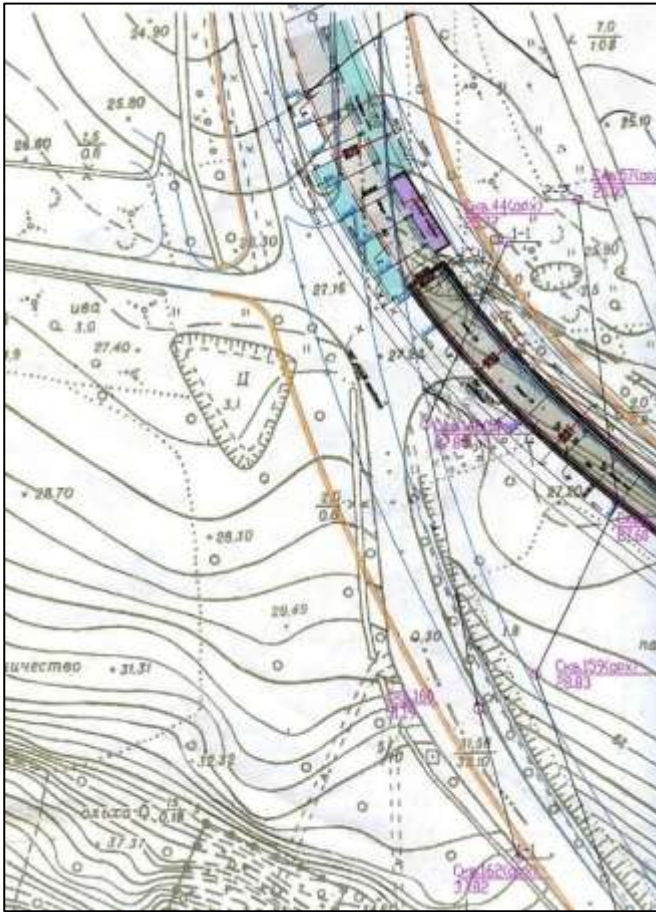


Рисунок 3.7 – Схема расположения тоннеля с элементами рельефа

Описываемая территория находится в южной части Предглинтовой низменности, примыкает к Балтийско-Ладожскому глинту, что обуславливает развитие оползневых процессов, характеризующиеся образованием относительно крутых склонов. Следует отметить, что склон, на котором расположен участок строительства тоннеля, имеет невысокие углы заложения, следовательно, встает вопрос о его происхождении. Тоннель вписан в естественный поворот, который сформировался за счет склоновых процессов (рисунок 3.7).

Одним из таких процессов может быть старый стабилизировавшийся оползень.

Следует отметить две принципиально важные позиции, которые не были учтены при проектировании транспортного сооружения, имеющие значение для обеспечения его устойчивости: подрезка полого склона (рисунок 3.8), особенности состояния, степень дезинтегрированности и, как следствие, изменение физико-механических свойств нижнекембрийских синих глин в условиях их естественного залегания, либо нарушенного процессами старых оползневых смещений, а также активизации склоновых процессов.

Следует учитывать, что трещиноватость синих глин может формироваться не только под действием тектонических сил, гляциотектоники и выветривания, как уже отмечалось в главе 1, но также и в процессе развития оползневых смещений. На стадии изысканий для проектирования тоннельной конструкции неглубокого заложения обработка результатов исследования синих глин проводилась без учета их зональности и трещиновато-блочного строения.

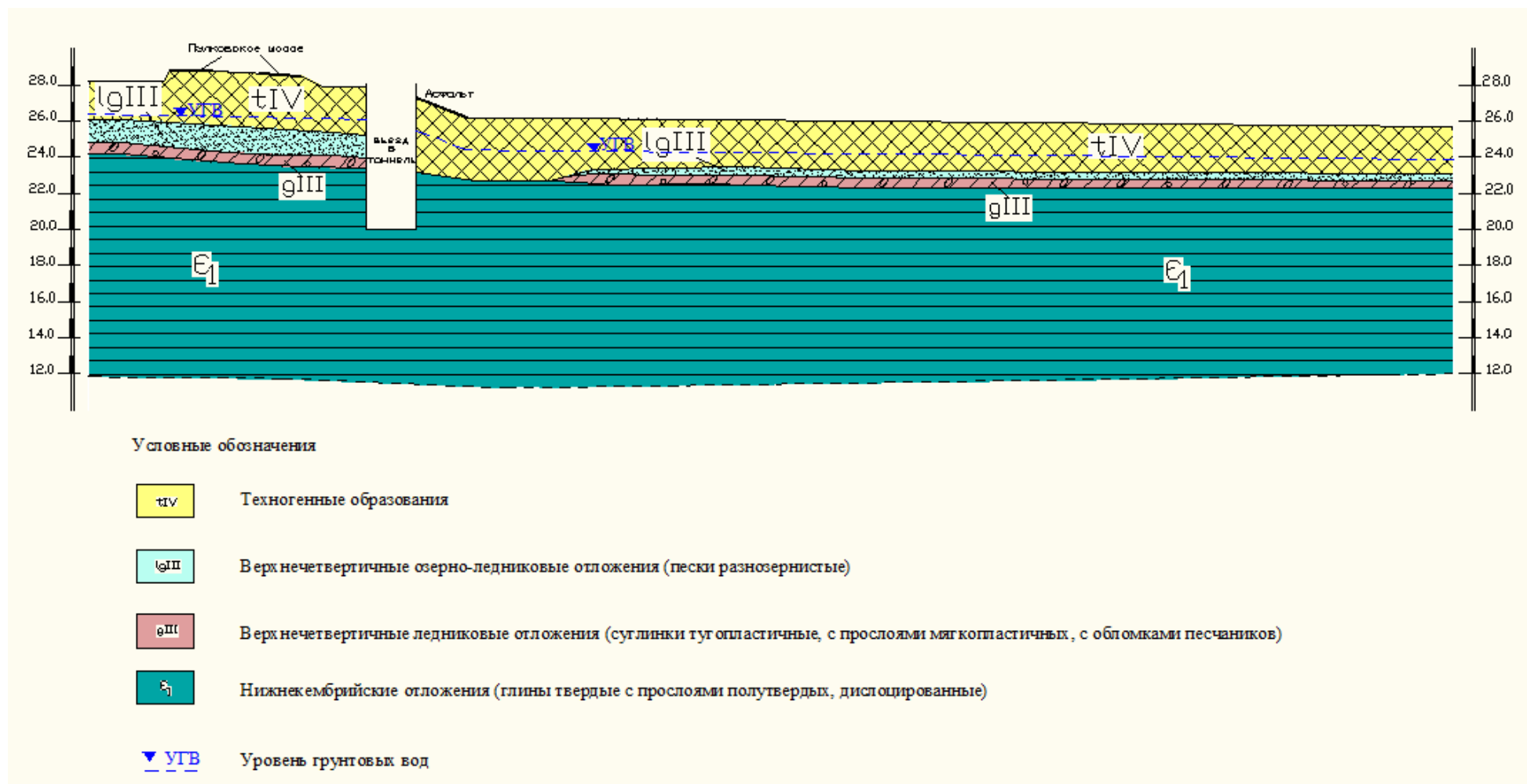


Рисунок 3.8 – Схематический инженерно-геологический разрез полого склона подрезанного транспортным тоннелем

Согласно лабораторным испытаниям, полученным при проектировании, синие глины характеризуются следующими физико-механическими параметрами: при величинах плотности $\rho = 2,04 \text{ т/м}^3$ и влажности $W = 0,22$ параметры сопротивления сдвигу составили $c = 0,10 \text{ МПа}$, $\varphi = 15^\circ$. На основании вышеприведенных параметров, глины были отнесены к твердым литифицированным отложениям и рассматривались как надежная вмещающая тоннель среда.

Не было также учтено, что транспортная тоннельная конструкция будет пройдена вблизи геодинамически активных разломов северо-западного простирания, в зоне влияния которых обычно фиксируется повышенная степень дезинтегрированности глин (рисунок 3.9). Необходимо обратить внимание на то, что выявленные в рельефе рассматриваемой территории уступы (см. рисунок 3.9) могут быть вызваны циклическим развитием оползневых смещений.



Рисунок 3.9 - Выкопировка из геолого-структурной карты. Масштаб 1:100 000 (по Шабарову А.Н., Мельникову Е.К., 2004 г.)

По данным инженерных изысканий водоносный горизонт грунтовых вод приурочен к техногенным, озерно-ледниковым и моренным пескам, уровень грунтовых вод располагается на глубине 1,8 м ниже поверхности земли. По химическому составу вода является сульфатно-гидрокарбонатной натриево-кальциевой (таблица 3.4). Содержание хлоридов варьирует в пределах от 111 до

125 мг/дм³, гидрокарбонатов – 513-530 мг/дм³, содержание кальция не превышает 45 мг/дм³. Отмечается повышенное содержание легкоокисляемой органики. Минерализация вод варьирует в пределах 0,98 – 1,1 г/дм³.

Следует отметить, что обычно между датой отбора проб воды и датой проведения химического анализа проходит несколько дней и неустойчивые компоненты, такие например как аммоний (NH₄⁺) окисляются и/или утилизируются микроорганизмами. Изменяется также pH среды.

Таблица 3.4 – Химический состав грунтовых вод [94]

№ скважины	3	4	8
Глубина отбора, м	1,5	1,9	1,9
Элемент химического анализа			
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	531,5	530,3	513,2
CO ₃ ²⁻ , мг/дм ³	0	0	0
Cl ⁻ , мг/дм ³	125,9	118,4	111,7
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	49,4	50,2	49,4
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	Сл	Сл	Сл
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,4	0,6	0,4
Ca ²⁺ , мг/дм ³	118,2	117,6	113,6
Mg ²⁺ , мг/дм ³	34,2	32,3	33,8
Na ⁺ + K ⁺ , мг/дм ³	103,7	103,2	93,6
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	1,5	1,1	1,5
Fe _{общ} , мг/дм ³	56,5	55,5	61,5
Сухой остаток, мг/дм ³	778,0	456,0	738,0
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	8,71	8,53	8,45
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм ³	8,71	8,53	8,45
Жесткость некарбонатная, мг-экв/дм ³	0	0	0
Окисляемость мнО ₂ /дм ³	13,9	13,2	13,4
Углекислота свободная, мг/дм ³	30,8	46,9	45,1
№ скважины	3	4	8
pH, ед. pH	7,34	7,42	7,42

По результатам химических анализов проб воды, отобранных на участке в соответствии со СНиП 2.03.11-2001 подземные воды являются неагрессивной средой по отношению к бетону нормальной проницаемости, в соответствии с ГОСТ 9.602-89 обладают коррозионной активностью высокой степени по отношению к алюминиевым и средней - к свинцовым конструкциям. Однако, не было установлено содержание СО₂ агрессивного, который обычно определяет возможность протекания углекислой агрессивности водной среды по отношению к цементам бетонов и растворов.

Несмотря на то, что грунтовые воды согласно нормативным документам были оценены как неагрессивные, наблюдалось активное и достаточно быстрое разрушение бетонных конструкций, что способствовало снижению их эксплуатационной надежности.

Грунтовые воды при подрезке склона следует рассматривать как фактор, влияющий на напряженно-деформируемое состояние откоса, а также эксплуатационную надежность ограждающих конструкций, в данном случае обделку тоннеля, что не было учтено при его проектировании, строительстве и эксплуатации.

Тоннель был открыт в 2008 году, по всей очевидности, деформации начались сразу же после проложения тоннеля, но визуально разрушение уже достаточно отчетливо фиксировалось спустя год после начала эксплуатации. Хронология и характеристика этапов разрушения приведены в таблице 3.5.

Проектная организация ЗАО Инжтехнология обратилась на кафедру гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета с просьбой установить причины деформации тоннельной конструкции, а также разработать рекомендации по обеспечению его устойчивости. Одновременно вышеупомянутая организация попросила ЗАО ЛенТИСИЗ провести контрольное бурение на предаварийном участке по поперечному створу.

Таблица 3.5 – Характеристика и хронология проявления деформаций тоннеля

№№ п/п	Год проявления деформаций тоннеля	Характеристика разрушений тоннельной конструкции
1	2009 год	Визуально фиксирующиеся деформации конструкции, <i>смещение</i> вертикальных <i>стенок</i> составило 2 см , начало <i>струйных водопоявлений</i> в стенках тоннеля
2	Весна-лето 2010 года	<i>Обильные течи</i> в закрытой части тоннеля за счет смещений и разрушения бетонов
3	Сентябрь- октябрь 2010 года	<i>Ремонт</i> с использованием инъекционных растворов, приготовленных на основе бентонитовой расширяющейся глины, активизировавший разрушение тоннеля. Давление нагнетания составляло 2-3 атм. <i>Активизация развития деформации вертикальных стенок</i> до величины 10 см .

Продолжение таблицы 3.5

№№ п/п	Год проявления деформаций тоннеля	Характеристика разрушений тоннельной конструкции
4	Октябрь- ноябрь 2010 года	Раскрытие швов между секциями гранитной обделки в порталной части тоннеля, вертикальные трещины раскрытием 0,1 - 0,8 см. Между гранитными элементами следы протечек по швам. Следы течей и вынос цементного раствора , локальные участки высачивания воды по трещинам. Трещины в асфальте на расстоянии 20-30 см от парапета. Ширина раскрытия трещин от 0,5 до 3 см. Оседание земной поверхности , что приводит к образованию трещин в асфальтовом покрытии откоса. Следы ожелезнения, свидетельствующие о разрушении арматуры.

В ходе проведения экспертизы в Горном университете было выполнено визуальное обследование транспортной конструкции, в которое входила специализированная съемка с отбором проб разрушенных конструкционных материалов для приготовления водных вытяжек и специализированные микробиологические исследования для оценки роли биокоррозионных процессов в разрушении бетонов.

Специализированная съемка состояния тоннеля позволила зафиксировать некоторые формы разрушения его обделки (рисунки 3.10 и 3.11), а также выявить активизацию разрушения транспортной конструкции, что отражено в пунктах 3 и 4 таблицы 3.5.



Рисунок 3.10 – Повреждение
бетона (секция №7/8)



Рисунок 3.11 – Формирование
высолов на бетонах (секции №5)

Для оценки состояния тоннельной конструкции и причин её активного разрушения был выполнен комплекс лабораторных исследований, который

включал: химический анализ состава водных вытяжек из отобранных проб разрушенных бетонов, растворов, а также материалов, применявшихся для текущего ремонта отделки транспортного тоннеля; определение гранулометрического состава заполнителя цементного раствора, который использовался для заделки швов; микробиологические исследования для оценки направленности биохимических процессов, протекающих в конструкционных материалах; исследования состава и физико-механических свойств синих глин, оценка изменения их состояния и прочности по глубине разреза, с выделением наиболее слабых прослоев.

Результаты химического анализа водных вытяжек (см. рисунок 3.12, таблицу 3.6) позволили оценить степень разрушенности исследованных материалов, о чем свидетельствуют завышенные показатели содержания гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и присутствие во всех пробах иона алюминия; загрязнение грунтовых вод доказывается наличием аммония (NH_4^+) – показателя загрязнения грунтовых вод за счет утечек из канализационной системы и возможность протекания биохимических процессов, на что указывают относительно низкие значения pH, формирование которых связано с нейтрализацией щелочности среды при разрушении цементных минералов органическими и неорганическими кислотами, которые генерируются микроорганизмами.

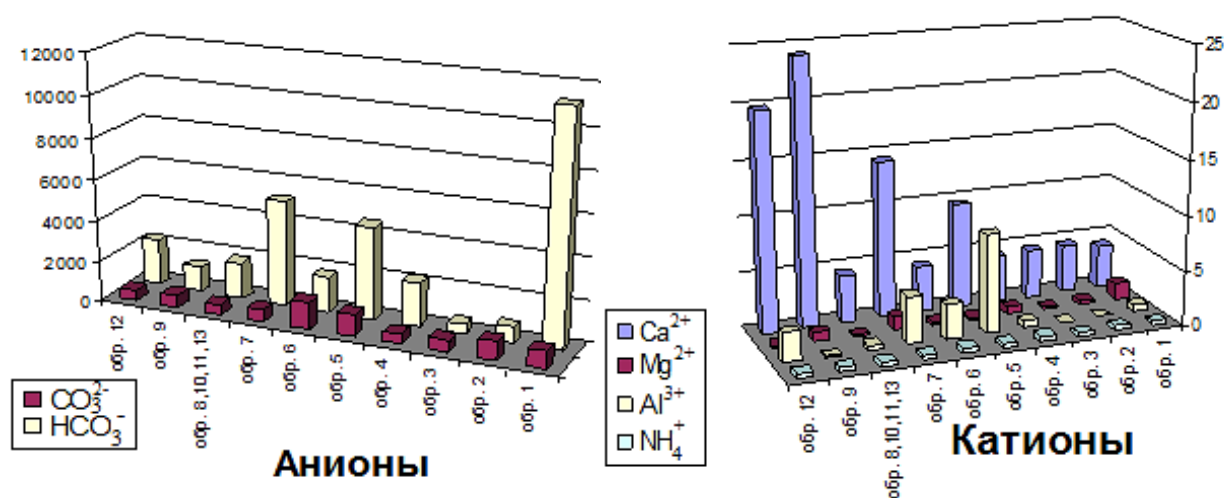


Рисунок 3.12 – Содержание макро- и микрокомпонентов в водных вытяжках из отобранных проб разрушенных материалов

Таблица 3.6 – Кислотно-щелочная характеристика водных вытяжек из отобранных образцов разрушенных строительных материалов и растворов

№ пробы	pH
Обр. 1 Разрушенный бетон плит (секции №7/8)	11,5
Обр. 2 Вынос цементного раствора из швов между плитами облицовки (влаж.) (секции №9/10)	5,95
Обр. 3 Следы ожелезнения (секции №8-9 по правой стороне)	5,4
Обр. 4 Отслоение верхней части бетона и краски (секции №8/9)	5,7
Обр. 5 Вынос цементного раствора (секции №5-7 по правой стороне)	7,1
Обр. 6 Вынос цементного раствора (влаж.) (секции №5-7 по правой стороне)	5,6
Обр. 7 Вынос цементного раствора (сух.) (секции №5-7 по правой стороне)	6,9
Обр. 10, 8, 13, 11 Вынос цементного раствора (влаж.) (секции №5-8 по правой стороне)	6,8
Обр. 9 Вынос инъекционного материала в подошве (секция №5 по левой стороне)	5,9
Обр. 12 Вынос цементного раствора (сух.) (секция №6 по левой стороне)	6,3

Необходимо обратить также внимание на гранулометрический состав мелкого заполнителя разрушенного раствора (таблица 3.7). Пески такого состава с высоким содержанием пылеватой фракции 0,05-0,002 мм, составляющим более 26%, а также тонкозернистой фракции - более 16%, снижают качество цементного раствора с позиции оценки их прочности и устойчивости в агрессивных средах. По всей вероятности, интенсивность разрушения вяжущих на начальной стадии эксплуатации тоннеля связана не только с агрессивностью подземных вод и вмещающей среды, но также с относительно низким качеством некоторых конструкционных материалов.

Таблица 3.7 - Гранулометрический состав пробы высолов, выносимых по увлажненным трещинам [104]

Проба	Зерновой состав										
	Содержание частиц (%) по фракции (мм)										
	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
				песок					пыль		глина
Обр. 10, 8, 13, 11 Высолы	0	0	0	0,73	16,89	16,79	23,32	16,16	12,37	13,74	0

Для оценки направленности биохимических процессов, протекающих в конструкционных материалах, доктором биологических наук Власовым Д.Ю. и кандидатом биологических наук доцентом Дмитриевой Е.Ю. были выполнены микробиологические исследования образцов разрушенных строительных материалов.

Следует отметить выявленную Власовым Д.Ю. особенность видового состава микромицетов (таблица 3.8).

Таблица 3.8 - Результаты микологического анализа образцов поврежденных материалов из конструкций тоннеля [104]

№ образца	Материал	Список грибов	Кол-во К О Е в 1г вещества
1	Разрушенный бетон	<i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> <i>Monodictys levis</i> <i>Penicillium herqueri</i>	2000 КОЕ
2	Вынос цементного раствора	<i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> <i>Penicillium roqueforti</i> <i>Penicillium griseofulvum</i> <i>Ulocladium atrum</i>	2100 КОЕ
3	Следы отшелушивания арматуры	<i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Phoma herbarum</i> <i>Penicillium herqueri</i>	5000 КОЕ
4	Отслаивание верхнего слоя бетона и краски	<i>Alternaria alternata</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> <i>Exophiala moniliae</i> <i>Penicillium waksmanii</i>	5000 КОЕ
6	Вынос цементного раствора	<i>Aspergillus ustus</i> <i>Exophiala moniliae</i>	500 КОЕ
7, 5	Выносы строительного мусора (старые)	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Exophiala moniliae</i> <i>Penicillium brevicompactum</i>	250 КОЕ
9	Вынос инъекционного раствора	<i>Alternaria alternata</i> <i>Exophiala moniliae</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> <i>Penicillium waksmanii</i> <i>Trichoderma viride</i>	5000 КОЕ
8, 10, 11, 13	Вынос цементного раствора	<i>Exophiala moniliae</i> <i>Paecilomyces variotii</i> <i>Penicillium herqueri</i>	300 КОЕ

Продолжение таблицы 3.8

№ образца	Материал	Список грибов	Кол-во К О Е в 1г вещества
12	Старые выносы цементного раствора	<i>Alternaria alternata</i>	150 КОЕ

Примечание: № образцов соответствует номерам проб в таблице 3.6

Был выявлен 21 вид микромицетов, из которых *Alternaria alternate*, *Exophiala moniliae*, *Fusarium sporotrichioides* рассматриваются как активные деструкторы бетонов и строительных растворов (рисунок 3.13). Кроме того, была установлена особенность видового состава микромицетов, среди которых зафиксированы микроорганизмы, характерные для среды, загрязненной канализационными стоками. [25]



Рисунок 3.13 – Рост колоний плесневых микромицетов, изолированных на искусственные питательные среды из поврежденных материалов (обр. 4 -бетон и красочный слой). В пробе выявлено 5000 КОЕ в 1 грамме поврежденного материала

Помимо микромицетов в разрушенных материалах были установлены различные физиологические группы микроорганизмов (рисунки 3.14, 3.15, 3.16): а) сапрофитные формы бактерий; б) гетеротрофные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы, в) тионовые бактерий, вырабатывающие серную кислоту, что приводит к снижению рН и подкислению водной среды и соответственно нейтрализует щелочную реакцию в водных вытяжках из цементных растворов.



Рисунок 3.14 – Развитие сапрофитовых бактерий на питательной среде ГМФ

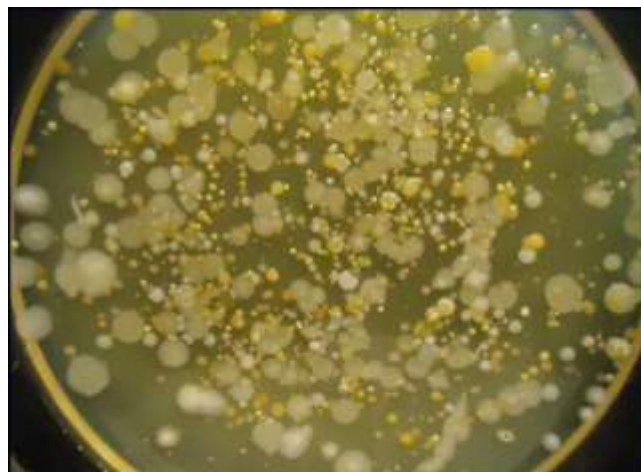


Рисунок 3.15 – Развитие тионовых бактерий на специализированной питательной среде



Рисунок 3.16 – Развитие сапрофитовых микроорганизмов на питательной среде ГМФ (гидролизат мяса ферментативный)

Результаты исследований приведены в таблице 3.9, в которой показаны видовой состав и численность колониеобразующих единиц КОЕ в 1 г субстрата.

На основании выполненных микробиологических исследований подтверждена значимость протекания биокоррозии конструкционных материалов тоннеля, которая активизируется под действием напряжений действующих в обделке тоннеля (стресс - коррозия) [25].

Таблица 3.9 – Численность микроорганизмов в разрушенных конструкционных материалах [81, 104]

№ п/п	№ Обр.	Численность, КОЕ/г				
		Общее число сапрофитов	Олиготрофы	Актиномицеты	Тионовые бактерии	Микромицеты
1	1	$8,0 \times 10^3$	Менее 10^3	$9,2 \times 10^4$	$5,0 \times 10^4$	Менее 10^3
2	2	$1,1 \times 10^5$	$6,6 \times 10^3$	$1,2 \times 10^5$	$4,2 \times 10^3$	Менее 10^3
3	3	$6,9 \times 10^4$	$9,8 \times 10^3$	$1,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^4$	Около 10^3
4	4	$2,9 \times 10^5$	$3,5 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	Менее 10^3
5	5 и 7	$7,5 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$	$4,5 \times 10^4$	$4,5 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$
6	6	$7,0 \times 10^4$	$2,6 \times 10^4$	$5,6 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
7	8, 10, 11, 13	$9,9 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$	$8,5 \times 10^4$	$3,1 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
8	9	$8,6 \times 10^5$	$8,0 \times 10^5$	$8,3 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	Менее 10^3
9	12	$6,4 \times 10^5$	$6,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$3,3 \times 10^4$	Менее 10^3

Примечание: № образцов соответствует номерам проб в таблице 3.6

Контрольное бурение, проведенное организацией ЛенТИСИЗ, позволило установить характеристики физико-механических свойств в разрезе вмещающей среды. Средние значения влажности и плотности составили 0,20 и 2,11 т/м³ соответственно. Параметры прочности имели следующие величины: $c = 0,08$ МПа, $\varphi = 12^0$. Полученные значения влажности и плотности отвечают выделенной 2-ой зоне в толще синих глин в условиях ненарушенного тектоническими разломами залегания (см. пункт 1.3).

Как показывает анализ результатов изысканий, выполненных ЛенТИСИЗом, оценка прочности нижнекембрийских синих глин в основном проводилась по принципу осреднения, без объективного анализа варьирования значений показателей сопротивления сдвигу. Обработка результатов испытаний образцов синих глин в срезном приборе сопровождалась отбросом минимальных значений прочности образцов, отобранных на глубине 6,3 м (рисунок 3.17), без какого-либо анализа реальности положения слабого прослоя в толще глин и его роли в

возможности нарушения устойчивости массива, ослабленного проходкой тоннеля открытым способом. Предполагаемая зона смещения откоса размещается вблизи тоннеля на глубине около 7,0 м, о чем свидетельствовали низкие значения сопротивления сдвигу глин, полученные ЗАО ЛенТИСИЗ осенью 2010 года (сцепление $c=0,052 - 0,054$ МПа, $\varphi = 4^\circ$) [104].

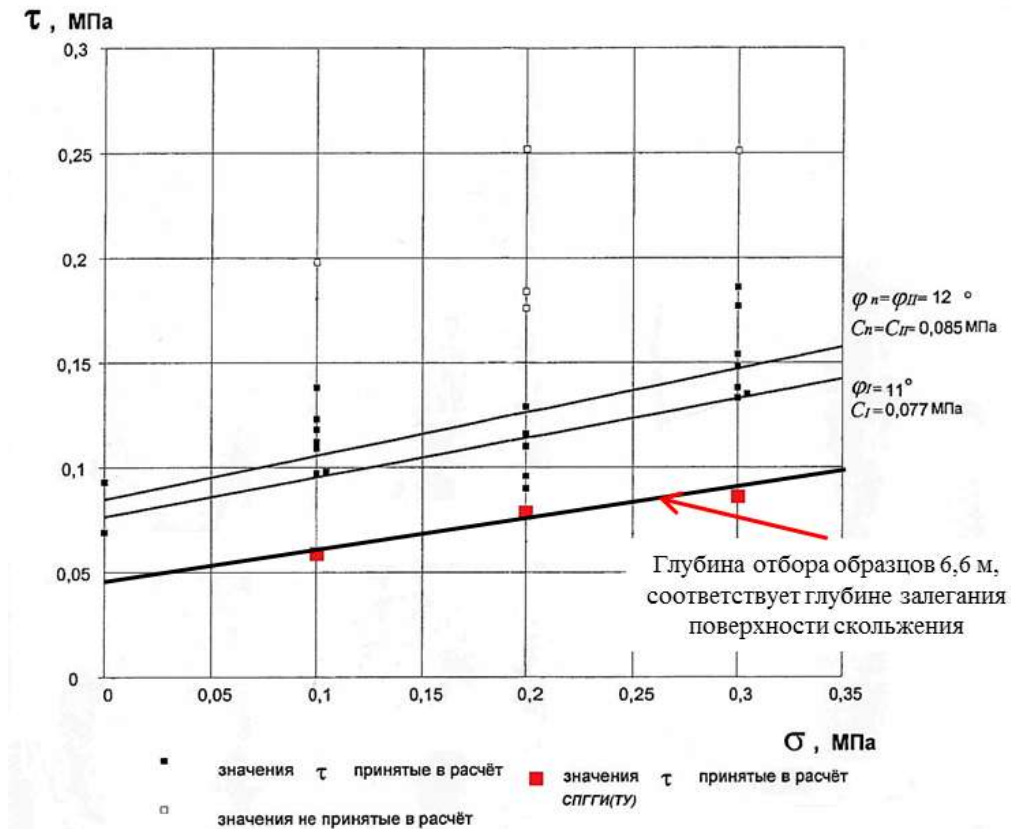


Рисунок 3.17 – Диаграммы сопротивления сдвигу образцов синих глин, отобранных при бурении на различных глубинах, полученные при испытаниях в одноплоскостных приборах (данные ЗАО ЛенТИСИЗ)

Исследования состава и физико-механических свойств синих глин на образцах, отобранных вблизи действующего тоннеля для оценки изменения состояния и прочности глин по глубине разреза, выполненных в лаборатории «Центра инженерных исследований» показали, что синие глины по своему деформационному поведению характеризуются как квазипластичные разности.

Углы внутреннего трения (φ) составили менее 4° , а величина сцепления при испытании пород в условиях трехосного сжатия изменялась в пределах от 0,03 до 0,05 МПа при величине влажности (W) равной 0,17 – 0,19 и плотности $\rho = 2,11 \text{ т/м}^3$, что соответствует параметрам прочности нижнекембрийских глин в

условиях нарушенного залегания в теле оползня (см. пункт 2.3.1) и значительно ниже тех же параметров глин при указанных значениях влажности и плотности в условиях их естественного залегания [104]. Для учета макротрещиноватости в величину сцепления был введен коэффициент структурного ослабления $\lambda = 0,5$, в связи с чем величина сцепления снизилась до минимальных значения и составила 0,02 МПа.

Необходимо также отметить, что вся толща синих глин характеризуется высоким уровнем микробной пораженности. Величина микробной массы (ММ), определенной по величине суммарного микробного белка с использованием метода М. Бредфорда [59], составляет 9,51 - 77,00 мкг/г, что лишний раз доказывает необходимость учета биокоррозионной активности подземной среды по отношению к конструкционным материалам.

Результаты проведенной специализированной съемки и полученные показатели физико-механических свойств, не характерные для синих глин в коренном залегании, а также зафиксированный процесс проседания грунта и формирование трещин закола в асфальтовом покрытии вдоль парапета, свидетельствуют о формировании оползневых смещений подрезанного пологого склона.

В ходе проведения экспертизы были выполнены расчеты локальной и общей устойчивости подрезанного тоннелем склона при условии использования в качестве расчетных показателей сопротивления сдвигу (c и φ) данных ЗАО «ЛЕНТИСИЗ» и результатов экспериментальных исследований, полученных в лаборатории кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета.

Расчет коэффициента устойчивости (запаса) выполнялся по формуле алгебраического сложения сил:

$$n = \frac{\sum (P_i \cos \beta_i) \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum P_i \sin \beta_i}, \quad (3.4)$$

где P_i – вес выделенного блока, тс ($P = V \cdot \gamma$, где V – объем породы в пределах выделенного блока, м³; γ – средневзвешенная по мощности плотность

породы в пределах выделенного блока, т/м³); β – угол между вектором P_i и нормальной составляющей давления ($N = P_i \cos\beta_i$, тс), град.; φ_i – угол внутреннего трения слоя, в пределах которого находится плоскость скольжения, град.; c_i – сцепление слоя, в пределах которого находится плоскость скольжения, т/м²; l_i – длина плоскости скольжения в пределах выделенного блока, м; T_i – касательная составляющая давления ($T = P_i \sin\beta_i$), тс.

Выполненные при наиболее благоприятном варианте – без учета действия подземных вод расчеты подтверждают, что подрезанный склон находится в неустойчивом состоянии и наблюдаются медленные (пластические) деформации откоса. В результате рассмотрения устойчивости подрезанного склона была получена величина оползневого давления на стенку тоннеля, при которой отсутствует гарантия обеспечения эксплуатационной надежности и устойчивости конструкции тоннеля (рисунок 3.18).

Для обеспечения устойчивости откосов, сложенных глинистыми породами, может быть применена подпорная стенка, устроенная из одного и/или двух рядов буронабивных армированных свай, с глубиной их заложения на 5-7 м ниже наиболее глубокого положения поверхности скольжения. Кроме того, необходимо использование в конструкциях материалов, проверенных на биоустойчивость в отношении действующего биоценоза [25].

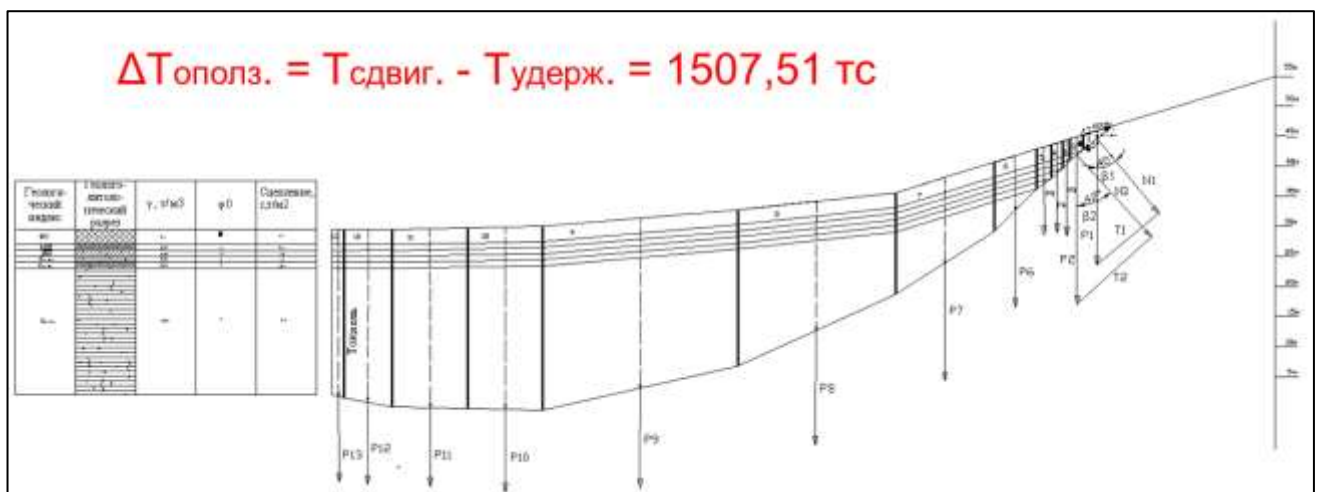


Рисунок 3.18 - Схема расчета общей устойчивости подрезанного тоннелем склона, сложенного «синими» глинами

3.2.2 Анализ перехода выемки на участке кольцевой автомобильной дороги в предаварийное состояние

Исследуемый участок трассы автодороги геоморфологически расположен на территории Предглинтовой низменности, проходит через возвышенность Большой Симоногонт, которая в практике проведения инженерно-геологических исследований не была изучена. Описываемый объект входит в состав КАД в административных границах Ломоносовского района в пределах от автомобильной дороги «Нарва» до поселка Бронка (рисунок 3.19).

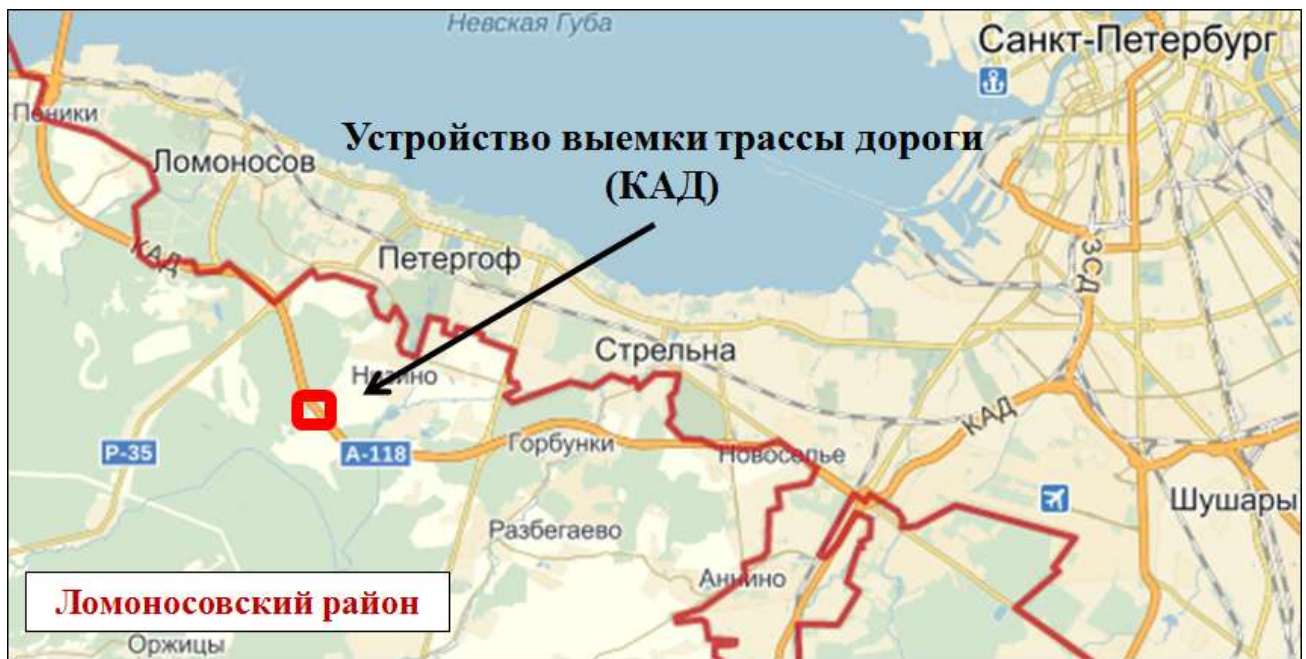


Рисунок 3.19 – Месторасположение выемки трассы дороги (КАД)

План трассы (графическое изображение проекции трассы на горизонтальной плоскости) изображен на рисунке 3.20. На участке проведения выемки радиус вписывания автодороги составляет 18000 м.

При обосновании выбора трассы не было проанализировано происхождение возвышенности Большой Симоногонт, в результате чего возникла необходимость устройства выемки в пределах рассматриваемой геоморфологической единицы, максимальная отметка дневной поверхности которой составляет 71,6 м, а проектируемая максимальная глубина выемки достигает 6,81 м [93].

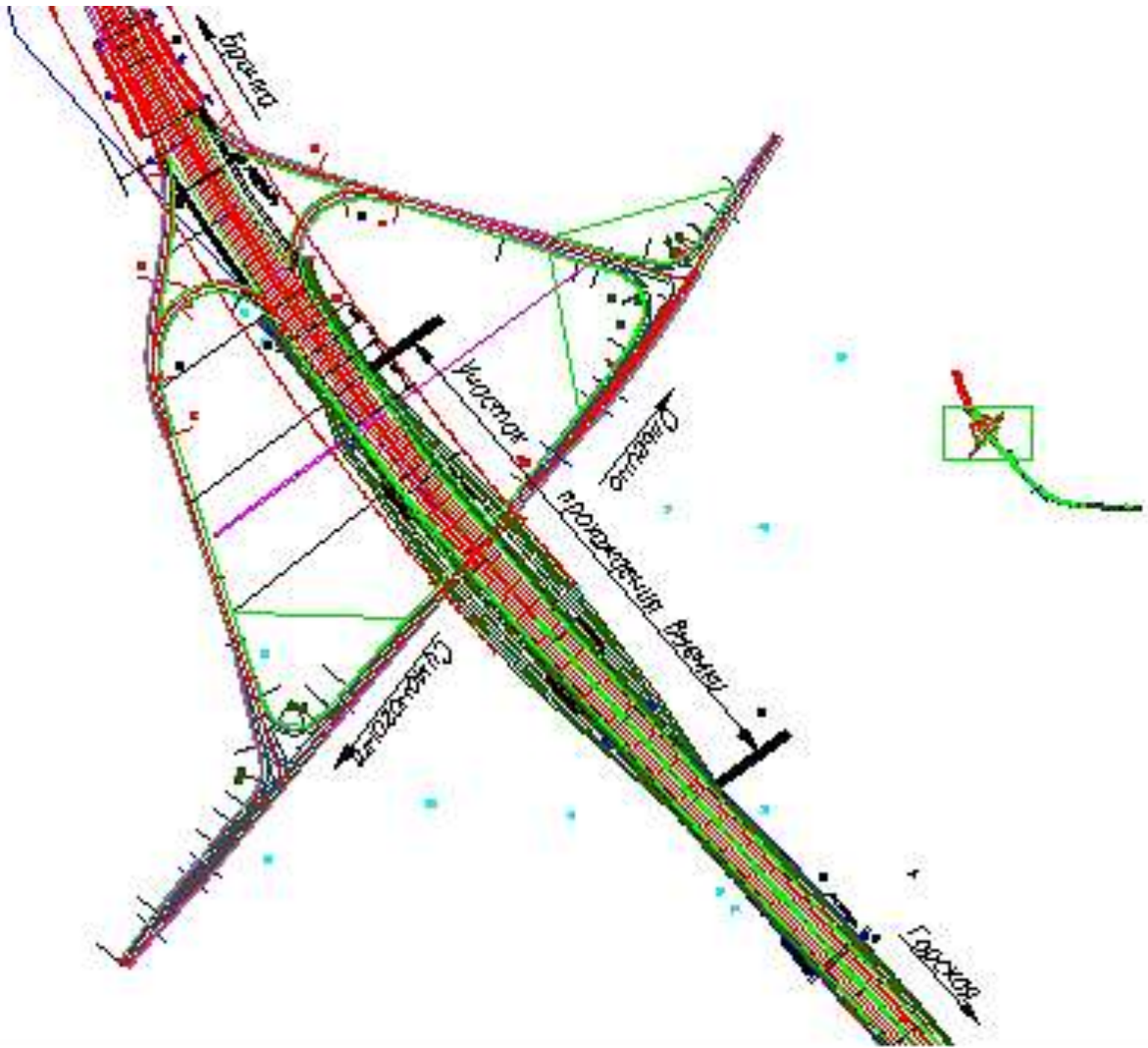


Рисунок 3.20 – План трассы КАД в пределах ПК 160 – ПК 172 [93]

В процессе проведения изысканий по результатам бурения было установлено, что возвышенность имеет довольно простое строение, нижнекембрийские глины перекрыты четвертичными ледниковыми отложениями лужской стадии оледенения (рисунок 3.21). При выполнении инженерно-геологического анализа данной структуры, отмечалась интенсивная трещиноватость и тонкая слоистость синих глин. Слои расположены под разными углами к горизонту. Цвет глинистых отложений варьировал от голубоватых и зеленоватых оттенков до бледно-серых. Также отмечалось повышение величины влажности до 0,26 и отсутствие закономерности изменения плотности синих глин по глубине по каждой скважине. Однако наблюдалась общая тенденция повышения плотности с глубиной от 1,95 до 2,10 т/м³, прослеживающаяся до 14 м (рисунок 3.22)[93].

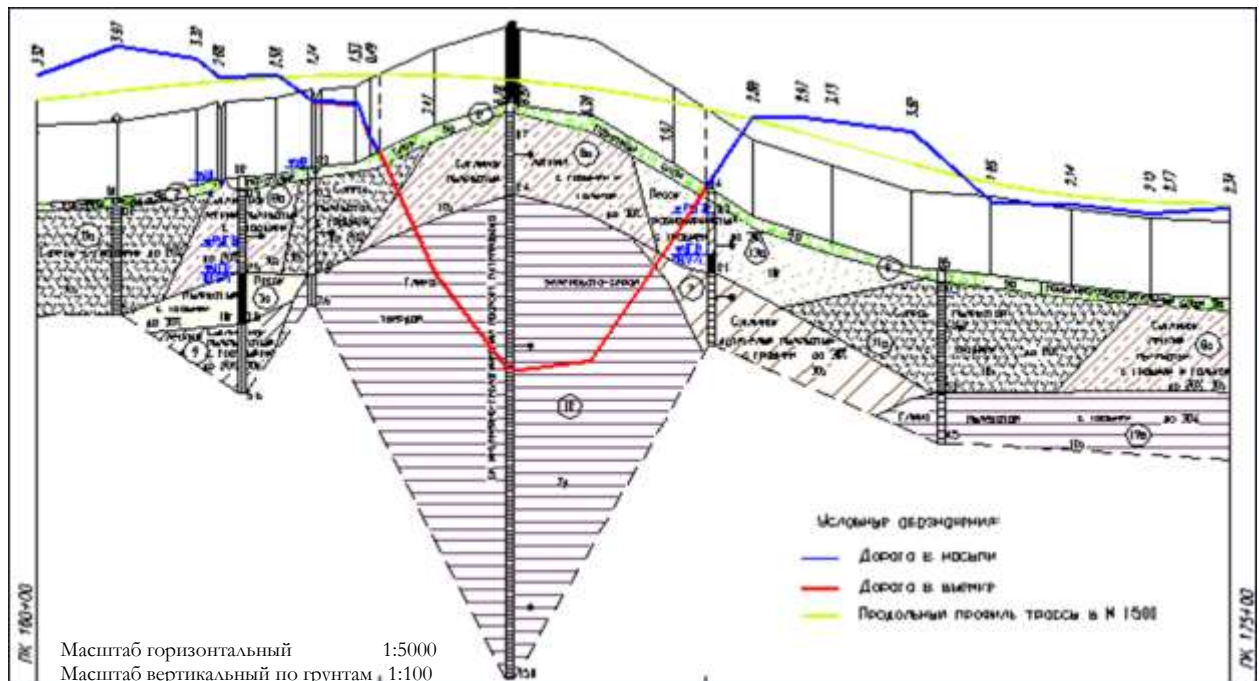


Рисунок 3.21 - Геолого-литологический разрез в пределах продольного профиля трассы между ПК 160 - ПК 175 [93]

При проектировании выемки параметры прочности синих глин (угол внутреннего трения и сцепление) были получены в одноплоскостных срезных приборах. По результатам испытаний угол внутреннего трения составил $\varphi = 19^\circ$, а сцепление синих глин $c = 0,097$ МПа. При этом важно подчеркнуть, что полученные лабораторные параметры механических свойств синих глин значительно завышены и не отвечают реальной прочности грунтов в толще. Синие глины, характеризующие приведенными выше величинами влажности и плотности, относятся ко второй выделенной в толще зоне и даже в ненарушенном залегании обладают гораздо более низкими параметрами прочности ($c = 0,075-0,117$ МПа, $\varphi = 0-2^\circ$), а в зонах тектонических нарушений при аналогичных параметрах физических свойств величина сцепления снижается до $0,034-0,078$ МПа.

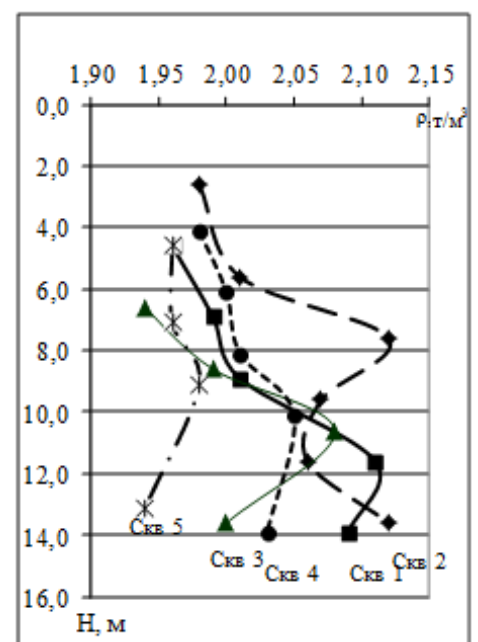


Рисунок 3.22 – Характер изменения плотности синих глин по глубине

Необходимо также отметить, что глины в пределах рассматриваемого участка строительства характеризуются высокой пылеватостью (содержание частиц диаметром $d = 0,05-0,005$ мм во многих случаях превосходит 60-70%), что обуславливает их высокую водонеустойчивость, прежде всего, скорость размокания, а так же возможность морозного пучения в основании дорожной одежды.

Вышеперечисленные характеристики синих глин позволяют судить о том, что возвышенность представляет собой диапироподобную структуру, образование которой связано с неотектоническим периодом геологической истории рассматриваемого региона, когда в пределах узлов тектонических разломов в период активизации тектонической деятельности происходило выдавливание синих нижнекембрийских глин (см. пункт 2.1).

Повышенная трещиноватость синих глин и образование диапироподобных структур в пределах рассматриваемого участка обусловлены его расположением в пределах наложения двух трансконтинентальных линеаментов: Лапландско-Нильский с кинематикой сдвига и сжатия имеющий меридиональное направление и Нарвко-Аму-Дарьинский с деформациями сдвига северо-западного простирания.

При отборе проб в процессе бурения скважин в теле диапира наблюдался низкий выход керна, связанный с мелкоблочным строением синих глин, что объясняет полученные при проектировании высокие значения прочностных показателей.

Для получения реальных значений физико-механических свойств отобранные в верхней части разреза образцы синих глин были испытаны в условиях трехосного сжатия. По результатам стабилметрических исследований угол внутреннего трения φ составил 6° . Для учета ярко выраженной макротрещиноватости синих глин в величину сцепления был введен коэффициент структурного ослабления, рассчитанный по формуле 3.1. Учитывая, что высота откоса выемки (Н) 7,0 м; $a = 2,0$; $l = 0,15$ м, коэффициент структурного ослабления $\lambda = 0,12$.

Тогда сцепление синих глин с учетом коэффициента структурного ослабления λ , рассчитанное по формуле:

$$c_T = c_M * \lambda \quad (3.5)$$

составило $c_T = 0,012$ МПа.

С использованием этих параметров был произведен расчет устойчивости откосов выемки для трещиноватых глин, который отражает реальные условия залегания пород. Расчет коэффициента устойчивости был осуществлен по криволинейной поверхности скольжения согласно схеме ВНИМИ (рисунок 3.23).

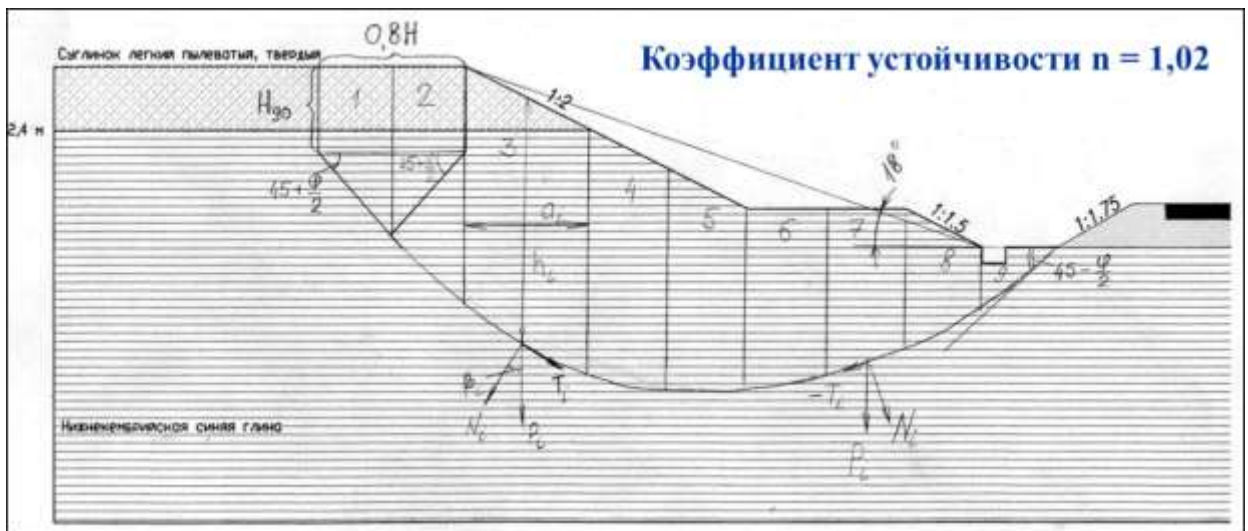


Рисунок 3.23 - Схема расчета устойчивости откосов выемки

Полученные значения коэффициента устойчивости откоса выемки $n = 1,02$ указывают на то, что его состояние близко к состоянию предельного равновесия, следовательно, заложенный в первоначальный проект угол откоса выемки равный 18° не сможет обеспечить необходимой эксплуатационной надежности автодороги.

Корректировка угла заложения откоса с 18° до 11° обеспечила длительную устойчивость откосов выемки ($n = 1,34$), но при заложении пологих углов в 11° резко возрос объем земляных работ, а также ширина выемки поверху достигла больших размеров, чем полоса отвода под земляное полотно.

Следовательно, требуется предусмотреть комплекс мероприятий по предупреждению дополнительного замачивания дислоцированных и сильнотрещиноватых глин подземными и поверхностными водами при

устройстве выемки в синих глинах и последующего негативного изменения их физико-механических свойств, обусловленного их мелкой блочностью.

В качестве мероприятия для защиты вскрытых синих глин от атмосферных осадков и последующего их размокания может быть рекомендована укладка по всей обнаженной поверхности бетонных плит, а для увеличения водоустойчивости нарушенных синих глин и предотвращения их морозного пучения - усовершенствование конструкции дорожной одежды с применением энзимного закрепления.

Таким образом, экономические затраты на обеспечение длительной эксплуатационной надежности участка выемки в пределах рассматриваемого участка должны быть сопоставлены с расходами, которые потребуются для проложения трассы в обход «глиняного диапира».

3.2.3 Анализ причин потери устойчивости песчаной насыпи в пределах КАД

Исследуемый объект расположен в пределах Предглинтовой низменности в 2,5 км к югу от г. Ломоносов (на пересечении Ораниенбаумского проспекта со съездом на КАД) вблизи с границей Санкт-Петербурга и Ленинградской области (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Местоположение песчаной насыпи, возведенной в пределах кольцевой автомобильной дороги

Участок 5 съезда КАД представляет собой искусственно отсыпанную насыпь, сложенную среднезернистыми кварцевыми песками, шириной порядка 18 м, протяженностью более 150 м, высотой 9,5 м и углами заложения откосов 30°, возведенную на синих глинах. При строительстве насыпи была произведена срезка плодородного слоя на 20 см [66].

На этапе проектирования песчаной насыпи были пройдены скважины глубиной 4-5 м. Согласно результатам лабораторных испытаний, отобранных при бурении образцов, в основании насыпи толща синих глин характеризуется следующими значениями физических свойств: $W = 0,28-0,29$, $\rho = 1,94-1,96 \text{ т/м}^3$.

При анализе данных инженерно-геологических изысканий никто не обратил внимания на завышенные значения влажности и низкие значения плотности, не характерные для синих глин в условиях коренного залегания.

В расчетах устойчивости насыпи использовались показатели сопротивления сдвигу, полученные в одной из лицензированных инженерно-геологических лабораторий города ($c = 0,048 \text{ МПа}$, $\varphi = 24^\circ$).

Важно отметить, что при бурении скважин, как и в случае с устройством выемки на участке КАД, наблюдался низкий выход керна нижнекембрийских синих глин. Лабораторные испытания проводились на монолитах, в которых сохранность не определяет их реальную прочность *in situ*, что обусловило полученные завышенные значения параметров сопротивления сдвигу.

Устойчивость насыпи заданной высоты при таких показателях c и φ была гарантирована.

Однако в начале сентября 2010 года произошло разрушение насыпи на съезде №5 через двое суток после возведения его до проектных отметок. Разрушение было вызвано отдавливанием глин из-под основания рассматриваемого насыпного сооружения. На рисунке 3.25 представлены фотографии с места проведения строительства 5 съезда КАД, на котором можно увидеть продольные трещины вблизи бровки автодорожной насыпи, свидетельствующие о развитии оползневых смещений.



Рисунок 3.25 – Образование трещин в приоткосной части насыпи

В процессе повторного возведения насыпи земляного полотна 5-го съезда транспортной развязки на ПК102 основного хода КАД, в течение 2 часов после устройства ее до проектных отметок были отмечены деформационные изменения насыпи, выразившиеся в оседании правой (наиболее пригруженной) части. Проявление деформаций выпора подтверждается характерными разрушениями борта водосбросной канавы, пройденной вдоль насыпи. На рисунке 3.26 представлены фотографии, иллюстрирующие, как выпор глин повлиял на устойчивость рядом стоящего с насыпью здания.



Рисунок 3.26 – Образование выпора в нижней части насыпи за счет отдавливания глин

После перехода насыпи в аварийное состояние, для проведения экспертизы причин потери устойчивости насыпного сооружения, были пробурены скважины глубиной 8-10 м.

Дополнительные изыскания показали, что в разрезе сильнотрещиноватые синие глины мощностью порядка 8,0-9,0 м залегают в виде крупного отторженного тела под насыпью и вне её подстилаемые мореными суглинками (рисунок 3.27).

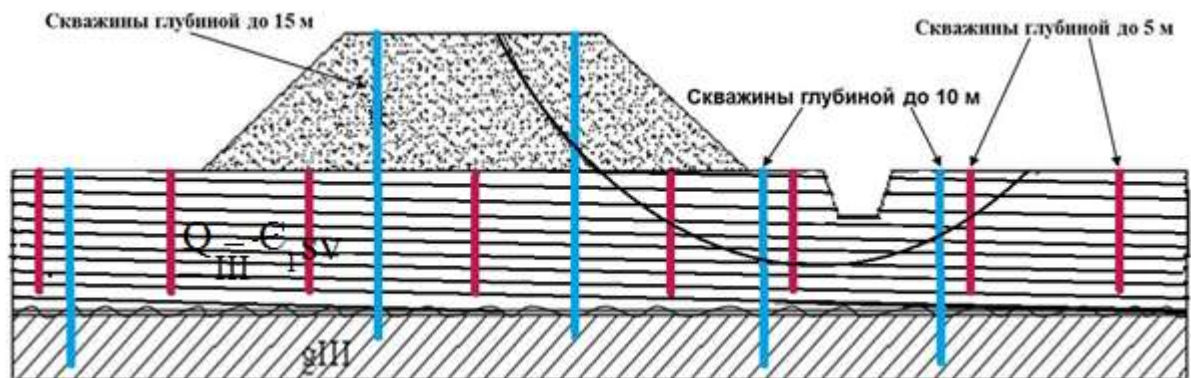


Рисунок 3.27 – Схематический разрез основания песчаной насыпи при строительстве участка трассы КАД

При проведении анализа причин перехода песчаной насыпи в аварийное состояние на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета были получены значения прочностных свойств синих глин в приборах трехосного сжатия: $c = 0,017$ МПа и $\varphi = 5^\circ$.

С использованием этих параметров, отвечающим реальным условиям работы синих глин в основании сооружения, был произведен расчет устойчивости насыпи. Поверхность скольжения была установлена при проведении полевых изысканий, слой глины с вышеприведенными характеристиками физических свойств четко был выделен по результатам бурения. В этом слое установлен тонкий прослой мягкопластичной дислоцированной глины, который фиксирует положение поверхности скольжения – выдавливание глины из-под насыпи. Давление от насыпи не соответствует несущей способности квазипластичных дезинтегрированных глин.

Расчет устойчивости насыпи был произведен по криволинейной поверхности скольжения согласно схеме ВНИМИ. Результаты расчета

свидетельствуют о невозможности обеспечения эксплуатации данного сооружения, так как коэффициент устойчивости, при условии учета трещиноватости глин, залегающих в основании, и их квазипластичного состояния, оказался менее 1,0.

Поскольку обеспечение устойчивости насыпи с проектными параметрами оказалось невозможным, было рекомендовано заменить насыпь на участке в 300 м эстакадой[23].

3.3 Анализ надежности использования нижнекембрийских синих глин как формации для захоронения опасных промышленных отходов

Промышленность Санкт-Петербурга является источником разнообразных отходов производства, значительная часть которых представляет серьезную опасность для подземной и воздушной среды Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

В соответствии с законодательством Российской Федерации отходы делятся на 5 классов опасности для подземной и воздушной среды (последний класс – неопасные отходы), также выделяют различные виды отходов, исходя из их агрегатного состояния, состава и происхождения. Например, все промышленные отходы делятся на жидкие и твердые, а также органические, неорганические отходы, отходы строительства, в том числе загрязненные и незагрязненные грунты.

Состав отходов промышленных предприятий Санкт-Петербурга весьма разнообразен. Согласно данным, полученным Управлением по Северо-Западу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, по составу в Санкт-Петербурге преобладают следующие виды отходов [77]:

- более 80% отходов I класса опасности составляют ртутьсодержащие отходы;
- около 60% отходов II класса опасности составляют металлические и гальванические шламы;

- около 50% отходы III класса составляют различные виды нефтесодержащих отходов (нефтешламы, отходы эмульсий, масел, смесей нефтепродуктов);
- более 60% отходов IV класса опасности составляют отходы (осадки) при механической и биологической очистке сточных вод;
- около 50% отходов V класса составляет лом черных металлов.

Отходы при складировании и захоронении необратимо воздействуют на все компоненты природной среды: воздух, почвы, поверхностные и подземные воды, а также горные породы и микробиоту [41]. Характер такого воздействия определяется с одной стороны, технологией складирования и, с другой - особенностями геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических условий районов размещения отходов [84].

Рациональным способом обращения с отходами является их утилизация, однако многие отрасли промышленности складировывают значительную часть отходов на поверхности, в её приповерхностной части и в глубоких горизонтах.

На территории Предглинтовой низменности в административных границах Ленинградской области производится складирование промышленных отходов по схеме - подземное захоронение (первые десятки метров) в карты-котлованы на территории полигона Красный Бор, а также предполагалось устройство глубоких могильников (глубиной 100 м) РАО вблизи поселка Копорье.

3.3.1 Опытно-промышленный полигон «Красный Бор»

Для обезвреживания опасных промышленных отходов, образующихся на предприятиях Ленинграда и Ленинградской области, в 6 км к юго-западу от г. Колпино в 1969 году организован специализированный полигон «Красный Бор» (рисунок 3.28). В соответствии с Уставом, основным направлением деятельности ГУПП «Полигон «Красный Бор» является сбор, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение опасных промышленных отходов, за исключением радиоактивных и бактериологических.



Рисунок 3.28 – Полигон «Красный Бор»

С момента образования и по настоящее время полигон размером 75 га принял более 1,8 млн. т промышленных отходов. В настоящее время более 320 промышленных предприятий Санкт-Петербурга и Ленинградской области имеют договорные отношения с полигоном на размещение промышленных токсичных отходов.

Предполагалась, что полигон по обезвреживанию токсичных отходов просуществует не более 5 лет, а опыт его эксплуатации будет учтен при проектировании других подобных производств в России. Однако, полигону «Красный Бор» до сих пор не создано какой-либо альтернативы, и он используется уже более 40 лет. Основной технологией по изоляции опасных отходов на полигоне является захоронение смешанных твердых, пастообразных и жидких отходов в открытых котлованах-картах глубиной до 25 - 30 м, пройденные в нижнекембрийских глинах, перекрываемых по мере заполнения слоем глины (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Внешний вид закрытой карты хранения жидких токсичных отходов

На полигоне складировуют гальванические отходы (кислые и щелочные растворы солей и гидросолей тяжелых металлов), органические отходы и промотходы нефтепродуктов, не подлежащие регенерации, а также особо опасные токсичные отходы - соединения ртути, свинца, фтора, мышьяка, фосфора, синильная кислота и ее соли [82]. Состав принимаемых полигоном отходов не претерпевает значительных изменений на протяжении ряда последних лет.

В настоящее время полигон состоит из 71 котлована общей площадью более 5800 м²: 66 закрыты, 5 действуют и заполняются (рисунок 3.30).



Рисунок 3.30 – Внешний вид открытой карты хранения жидких токсичных отходов

При проектировании экспериментального полигона не были учтены структурно-тектонические особенности его положения, особенности строения толщи глин и наличие их трещиноватости, высокая степень уязвимости этих отложений при изменении физико-химических, биохимических условий [44].

Решение по созданию полигона базировалось на основе лабораторных данных и предположениях, что толща синих глин является однородной тонкодисперсной средой, имеющей малую диффузионную проницаемость (коэффициент молекулярной диффузии $D_m < 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сут}$) и низкую фильтрационную способность, а также высокую устойчивость к техногенным воздействиям.

В компрессионно-фильтрационных приборах под высокими градиентами напоров были получены коэффициенты фильтрации отдельных блоков в маленьких образцах глин, которые составили $10^{-7} \text{ м/сут} - 10^{-5} \text{ м/сут}$. Результаты этих испытаний на стадии проектирования были приняты как свидетельство надежных водоупорных свойствах толщи глинистых отложений. Кроме того, на основании высокого содержания тонкодисперсных фракций в синих глинах был сделан вывод о том, что они обладают хорошей сорбционной способностью.

Расчеты времени опускания стоков из котлованов полигона до кровли ломоносовского водоносного горизонта были выполнены без учета трещиноватости глин и составили 2000 лет при использовании $K_\phi = 10^{-5} \text{ м/сут}$. Для расчетов использовалась формула Цункера:

$$t = \frac{n\Delta H}{k} \left[\frac{m}{\Delta H} - \ln \left(1 + \frac{m}{\Delta H} \right) \right], \quad (3.5)$$

где ΔH - разность напоров подземных вод (см. рисунок 3.31); n - пористость толщи водоупора (синие глины), m - мощность зоны фильтрации (см. рисунок 3.31), k - коэффициент фильтрации.

При условии рассмотрения глинистой толщи как трещиновато-блочной среды, т.е. среды с двойной пористостью и, соответственно, проницаемостью по трещинам, существенно меняются параметры фильтрационной способности глин *in situ*.

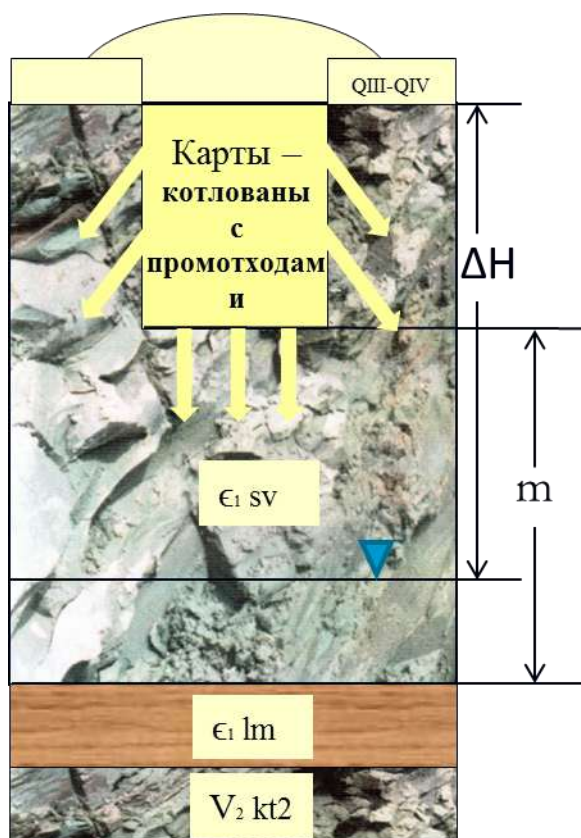


Рисунок 3.31 – Схематический разрез территории полигона

На кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета был произведен расчет времени движения промстоков с учетом напоров ломоносовского горизонта и изменения коэффициента фильтрации глин как трещиновато-блочной среды (см. рисунок 3.31). Параметры свойств толщи отвечали реальным условиям фильтрации из котлованов, аккумулирующим промышленные отходы на полигоне «Красный Бор». Полученные результаты приведены в таблице 3.10.

Расчет по той же формуле Цункера, с учетом трещинной пустотности показал, что время опускания фронта загрязнения составляет первые десятки суток. Важно учитывать, что при расчете времени опускания стоков по описываемой формуле не учитывается взаимодействие воды с блоками глин, замедляющее процесс их проникновения на глубину.

Таблица 3.10 - Результаты расчетов времени опускания промстоков до ломоносовского горизонта [41]

Трещинная пустотность, %	Коэффициент фильтрации, м/сут	Разность напоров. ΔH , м	Время опускания промстоков до кровли водоносного горизонта, сут	Примечание
0,1	10^{-3}	25	20	Блоки не фильтруют. Движение стоков только по трещинам в массиве
		50	13	
		65	11	
0,6	10^{-2}	25	11,5	Движение стоков через блоки и трещины.
		50	8	
		65	6,3	

Как известно, жидкая фаза отходов имеет различные кислотно-щелочные показатели. Действие кислот на глинистые породы проявляется в изменении их вещественного и гранулометрического состава (уменьшение содержания глистой

фракции), снижении влажности, пластичности, плотности породы и возрастания микротрещиноватости блоков [69]. Под действием кислых растворов ($\text{pH} < 6$) в глинах происходит разложение алюмосиликатного ядра глинистых минералов с выходом из кристаллической решетки Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , и последующим связыванием этих катионов анионом кислоты и образованием новых минералов в форме кристаллогидратов. В результате за счет роста кристаллизационного давления повышается макро- и микротрещиноватость породы.

Под воздействием щелочных стоков (при $\text{pH} > 9-10$) в синих глинах обычно происходит формирование цементоподобных минералов, которые кристаллизуются в форме кристаллогидратов, что обычно вызывает повышение степени трещиноватости этих отложений, снижение их гидрофильности и сорбционной способности. При $\text{pH} > 10$ наблюдается также растворение кремнезема, который присутствует в составе пылеватой фракции.

Учитывая активность взаимодействия трещиноватых глин с агрессивными стоками, необходимо иметь в виду возможность глубокой трансформации толщи под влиянием различного вида жидких промышленных отходов.

Тепловыделение отходов приводит к быстрому разогреву прилегающих пород. При температуре более 80°C , начинается активное удаление сорбированной (поровой) воды из глинистой пород, и соответственно термообезвоживание и термоусадка, способствующие появлению дополнительной трещиноватости [84].

О проницаемости глин по трещинам свидетельствует разгрузка сильно загрязненных вод в форме нисходящих источников в пониженных частях рельефа вблизи полигона. Состав вод и их минерализация, достигающая $8-12 \text{ г/дм}^3$, полностью отвечает составу жидкой фазы складироваемых в карты промышленных отходов.

Полигон в части обращения с отходами и их захоронением является по решению Комиссии по охране морской среды Балтийского моря (Хелком) горячей точкой [84].

Проведенные в ГПП Севзапгеология специальные геофизические исследования показали, что территория полигона «Красный Бор» находится в узле тектонических разломов, чем обусловлена интенсивная трещиноватость глин, за счет которой идет формирования обширного фронта загрязнения по глубине и в плане в толще синих глин, что сопровождается загрязнением ломоносовского водоносного горизонта, который используется для водоснабжения в регионе [30].

Следует отметить, что в 2003-2006 гг. гидрометеорологическим государственным университетом в районе полигона «Красный Бор» был выявлен дополнительный источник загрязнения подземных и поверхностных вод, почв и грунтов различными токсикантами – свалка промышленных и бытовых отходов.

Несанкционированная свалка промышленных и бытовых отходов «Усть-Тосна» расположена на площади 15 га в 800 м к северу полигона Красный Бор, в 4,5 км к юго-востоку от г. Колпино и в 3 км от административной границы Санкт-Петербурга (рисунок 3.32). Территория свалки расположена в Тосненском районе Ленинградской области между рекой Большая Ижорка и ручьем Безымянный.

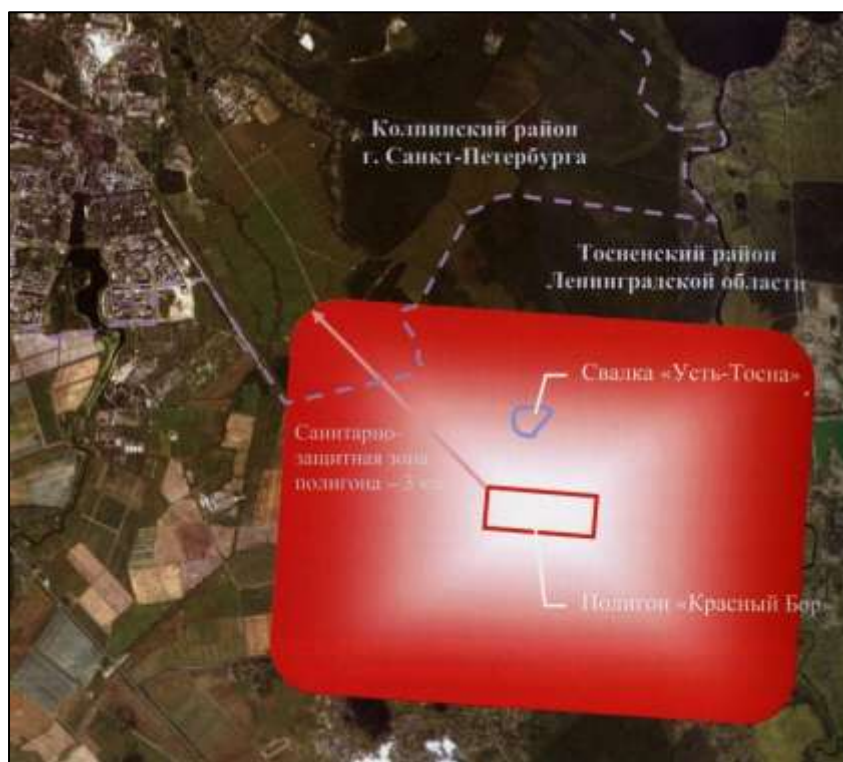


Рисунок 3.32 – Район расположения полигона «Красный Бор» и свалки «Усть-Тосна»

Уровень загрязнения компонентов подземной и воздушной среды рассматриваемого района, помимо присутствия и влияния полигона, обусловлен нахождением в данном районе несанкционированной свалки, наличием «следов» мощного фенолового фона вследствие захоронения недалеко от полигона значительного количества мореного леса, а также загрязнением от Никольского промышленного узла (кирпичный и керамический заводы) и Ижорского завода.

3.3.2 Подземные могильники РАО на территории Ленинградской области

В Санкт-Петербурге и Ленинградской области насчитывается более 30 крупных предприятий, которые используют радиационные технологии. И главным среди таких объектов, безусловно, является Ленинградская АЭС. За последнее десятилетие в пределах города обнаружено более 2000 участков техногенного неаварийного радиоактивного загрязнения площадью от 1 м² до 1 га [78]. В процессе длительной эксплуатации перечисленных объектов скопились большие объемы радиоактивных отходов (РАО).

Хранение РАО осуществляется на ФГУП Ленспецкомбинате «Радон» (г. Сосновый Бор) и на нескольких небольших площадках города и области: район Шкиперского протока (Санкт-Петербург); Санкт-Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова (г. Гатчина); пос. Кузьмолowo, Приветнинское и др. [2].

Суммарная активность РАО, хранящихся на Ленспецкомбинате, составляет около $2 \cdot 10^{16}$ Бк [78]. Приповерхностное хранилище представлено 16 железобетонными зданиями, построенными без заглублений на железобетонных плитах (65-80 см), уложенных на поверхность насыпного грунта [2]. В связи с тем, что ресурс данного хранилища уже выработан, а также с тем, что используемый вариант хранения не гарантирует радиационно-экологическую безопасность, встал вопрос о проектировании хранилищ РАО.

В качестве сред, пригодных для захоронения РАО, обычно рассматриваются 4 типа геологических формаций: соли, слабо трещиноватые магматические и метаморфические породы, многолетнемерзлые толщи и глинистые отложения [43].

Как известно, РАО являются источником альфа, бета, гамма, нейтронного и осколочного излучения, порожденного радиоактивным распадом содержащихся в них продуктов деления ядер урана, актиноидов и ядер с наведенной радиоактивностью. Основными видами радиоактивности РАО являются альфа распад актиноидов (уран, нептуний, плутоний, америций, кюрий) и бета распад продуктов деления, таких как стронций –90 и цезий – 137. Бета распад будет преобладающим в первое тысячелетие, а альфа распад в последующие десятки и сотни тысяч лет [99].

При выборе геологической формации в качестве подземной среды и способа захоронения важным фактором является активность отходов (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Классификация твердых РАО по уровню удельной активности [43]

Классификация по активности	Уровень активности, Бк/кг		Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности, Гр/ч
	Альфа-излучателей	Бета-излучателей	
НАО (низко-активные отходы)	$7,4 \cdot 10^3 - 10^5$	$7,4 \cdot 10^4 - 10^6$	$3 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-4}$
САО (средне-активные отходы)	$3,7 \cdot 10^5 - 10^8$	$3,7 \cdot 10^6 - 10^9$	$3 \cdot 10^{-4} - 10^{-2}$
ВАО (высоко-активные отходы)	$> 3,7 \cdot 10^8$	$> 3,7 \cdot 10^9$	$> 10^{-2}$

Низкоактивные отходы могут размещаться в котлованах глубиной в несколько десятков метров, а вот средне- и высокоактивные отходы должны быть локализованы в шахтах или скважинах большого диаметра на глубине достигающей сотен-, первых тысяч метров.

Концепция создания хранилища в глинах обычно базируется на определенных постулатах, которые выдвигаются рядом специалистов, работающих в области проектирования и научного обоснования возможности захоронения РАО в геологических формациях (А.С. Кривохатский, И.Ю. Шишиц, С.П. Щукин, В.Т. Сорокин, А.А. Шведов др.) [43]:

1. Глинистые отложения *in situ* представляют собой тонкопористую нетрещиноватую среду с низкой фильтрационной и диффузионной

проницаемостью (коэффициент фильтрации 10^{-5} м/сут, коэффициент молекулярной диффузии $< 10^{-7}$ м²/сут).

2. Глины имеют высокую сорбционную способность по отношению к радионуклидам.

3. Глинистые породы устойчивы при радиационном и температурном воздействиях.

На подобных предположениях базируется подход к нижнекембрийским синим глинам при захоронении промышленных токсичных отходов (см. пункт 3.3.1).

Район Копорья был выбран специалистами Минатома, Правительства Ленинградской области, Радиового института им. Г.В. Хлопина и ВНИПИЭТ в качестве наиболее экономически выгодного для захоронения радиоактивных отходов из-за наличия железнодорожного и автодорожного сообщения с Ленинградским спецкомбинатом «Радон» и ЛАЭС, находящимися в 17 км от зоны проектируемого хранилища РАО.

Рассматриваемая территория приурочена к северной оконечности Ижорского плато и находится на абсолютных отметках около 126 м. В пределах этого района среда для захоронения РАО - нижнекембрийские синие глины (сиверская свита $\text{Є}_1\text{sv}$) мощностью 116 м перекрыты маломощным чехлом отложений нижнепалеозойского и четвертичного возраста, что создает дополнительные выгоды при строительстве хранилищ.

Перспективная площадь создания подземных могильников РАО, выделенная в 1988-1990 гг., располагается в 12-19 км южнее г. Сосновый Бор, между поселками Копорье и Глобицы (рисунок 3.33). Северная часть площади расположена на нижнекембрийских глинах Предглинтовой низменности, южная – на ордовикских известняках северо-западного ограничения Ижорского плато. По центральной части площади проходит уступ кембрийско-ордовикского глинта (величина угла склона не превышает 15°) [2].

В пределах выбранной площади в 1989 г. ПГО «Невскгеология» и Радиевым институтом были выделены 6 участков для строительства, на одном из которых было проведено пробное разбуривание (площадка №18).

В 1994 г. ГПП «Невскгеология» и ВНИПИЭТ провели предпроектные исследования в центральной части 30-километровой зоны ЛАЭС и выделили территорию в полосе глинта общей площадью 100 тыс. м² для строительства хранилища на глубине 100 м от поверхности известнякового уступа [106].

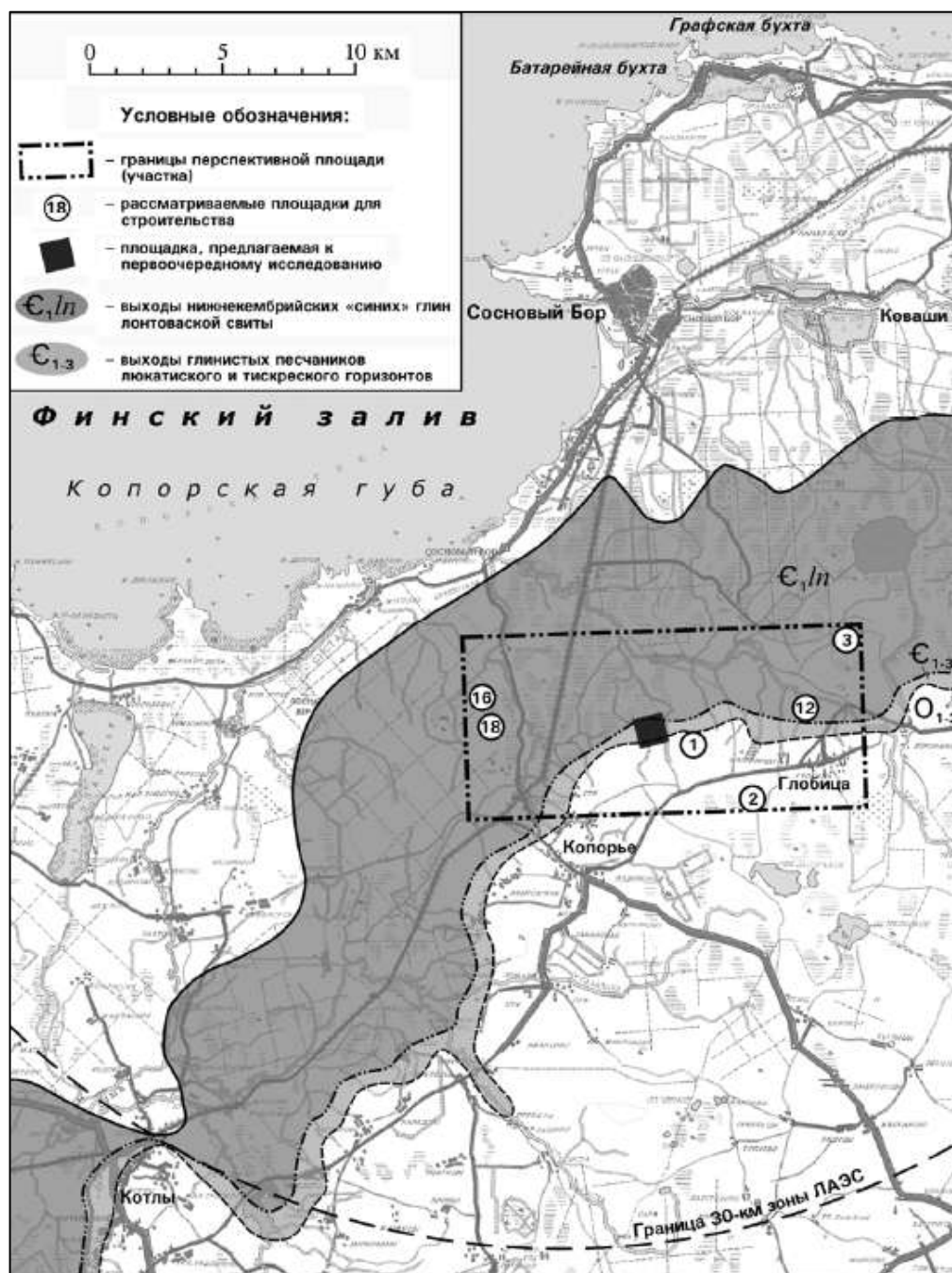


Рисунок 3.33 – Местоположение перспективной площади для размещения хранилища РАО [2]

Нижнекембрийские синие глины в описываемом районе подстилаются песчаниками ломоносовской свиты переходного возраста ($V_2 - \epsilon_2$ *lm*) мощностью 20-40 м, к которым приурочен ломоносовский водоносный горизонт, используемый для водоснабжения в юго-западных и западных районах (рисунок 3.34). При проектировании могильника РАО необходимо особое внимание уделить на возможность загрязнения водоносного горизонта радионуклидами.

Следует также отметить, что район Копорья, выбранный в качестве перспективной территории для захоронения радиоактивных отходов, расположен в пределах наложения двух трансконтинентальных линеаментов, дешифрованных по результатам космических снимков (В.А. Буш и др., 1984), и, согласно данным исследований ГГП Севзапгеология, полосы разломов северо-восточного направления шириной 8-10 км, имеющую наибольшую современную активность (Б.Г. Дверницкий, В.А. Ядута, 1999).

С северо-запада и северо-востока территория окаймляется погребенными долинами, заложенными, как правило, по региональным тектоническим разломам. Поскольку изученность площади Предглинтовой низменности, прилегающей к Копорью очень слабая, есть основания предполагать возможность существования на Предглинтовой низменности неустановленных палеодолин с небольшим эрозионным врезом северо-западного направления, прорезающих толщу синих глин.

Как уже отмечалось неоднократно, толща нижнекембрийских синих глин Предглинтовой низменности должна рассматриваться как трещиновато-блочная среда, т.е. среда с двойной пористостью, в которой интенсивность трещиноватости зависит от геолого-структурного положения региона и современных тектонических движений, а также нетектонических факторов.

В толще глин прослеживаются вертикальные, крутопадающие и горизонтальные трещины, по которым будет наблюдаться основное движение промстоков (вертикальная и плановая фильтрация). Трещиноватость синих глин играет важную роль в оценке их проницаемости.

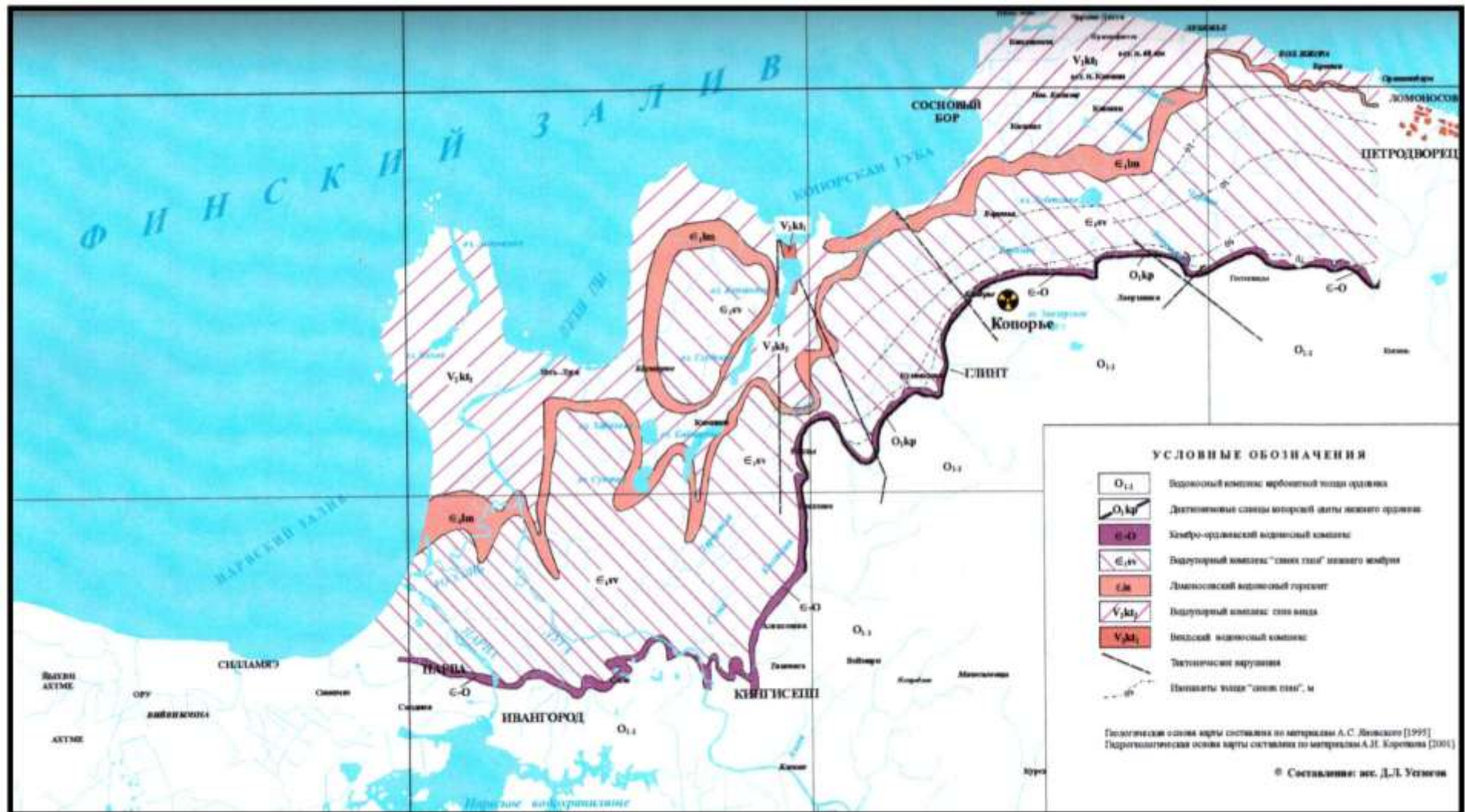


Рисунок 3.34 – Гидрогеологическая схема юго-запада Ленинградской области [41]

Согласно исследованиям Дашко Р.Э., проводимых для оценки влияния радиоактивного излучения на нижнекембрийские глины, которые служили основанием шламохранилища радиоактивных отходов в Силламяэ (Эстония), начиная с середины 40-х годов XX века, под воздействием радиации происходит негативное изменение вещественного и гранулометрического состава синих глин, параметров их физических и механических свойств.

Воздействие облучения НАО проявляется в аморфизации глинистых минералов, что отражается в первую очередь на сорбционной способности глин (емкость поглощения возрастает в 2 раза). Необходимо отметить, что при сравнении результатов определения гранулометрического состава облученных и необлученных глин было выявлено снижение содержания пылеватой фракции, с одновременным увеличением глинистой фракции. В облученных глинах рентгеноструктурный анализ показал, что в составе глинистой фракции ($d < 0,002$ мм) фиксировались только иллит и мусковит, в то время как необлученные синие глины, содержат хлорит, гидромусковит, гидробиотит и глауконит.

Глинистые отложения в зоне влияния НАО характеризуются существенными изменениями параметров физических свойств по сравнению с теми же характеристиками пород вне зон влияния радиоактивных отходов. Наблюдается уменьшение плотности глин в 1,2 раза, небольшое увеличение плотности минеральной части за счет протекания процессов сорбции радионуклидов, повышение гидрофильности и, как следствие, возрастание величины свободного набухания.

Длительное воздействие радиации отразилось на прочности и деформационных свойствах этих отложений. По сравнению с параметрами прочности и деформационной способности синих глин из района Нарвской ГЭС, величина сцепления снизилась в 2-7 раз, а модуля общей деформации более чем в 3 раза (рисунок 3.35) [43].

Следует отметить, что под воздействием радиационного излучения НАО также происходит интенсификации микробной деятельности во вмещающей

толще синих глин, сопровождающаяся снижением их прочности и повышением поглотительной способности глинистых отложений.

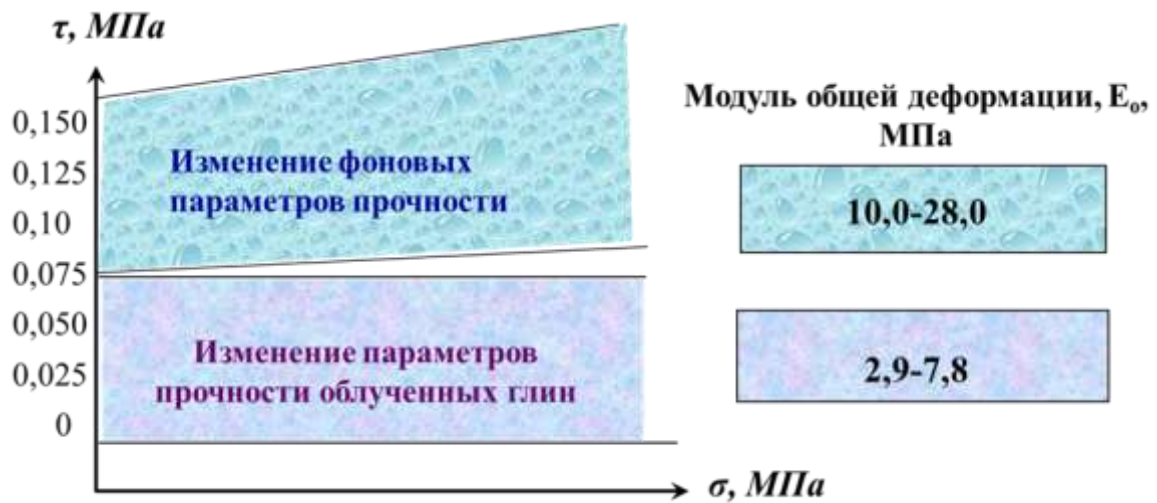


Рисунок 3.35 – Изменение прочности и деформационной способности глин при низкоактивном радиационном облучении [43]

Первые исследования влияния радиоактивности на микробиоту были выполнены в России проф. Г.А. Надсоном в начале XX века. Изучение влияния радиации показало, что микробные сообщества имеют определенный порог толерантности по отношению к величине облучения. Было установлено, что до определенного предела величина каждого варьирует в зависимости от принадлежности бактерии к той или иной физиологической группе [69].

Результаты исследований микробиологической активности в синих глинах в г. Силламяэ и в основании шламохранилища показали существенную разницу в величине микробной массы (ММ), она меняется по глубине в 2,0 – 2,7 раза (в средних значениях) [43].

Как показывают исследования, проведенные на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета в пределах Санкт-Петербургского региона в экологически чистых районах значения ММ в синих глинах варьирует в пределах от 10 до 30-35 мкг/г породы. При этом большие значения обнаруживаются в зонах тектонических разломов. Если сравнивать величину микробной массы облученных синих глин и глин в экологически чистых районах, то разница этих величин составляет порядок и более (рисунок 3.36).

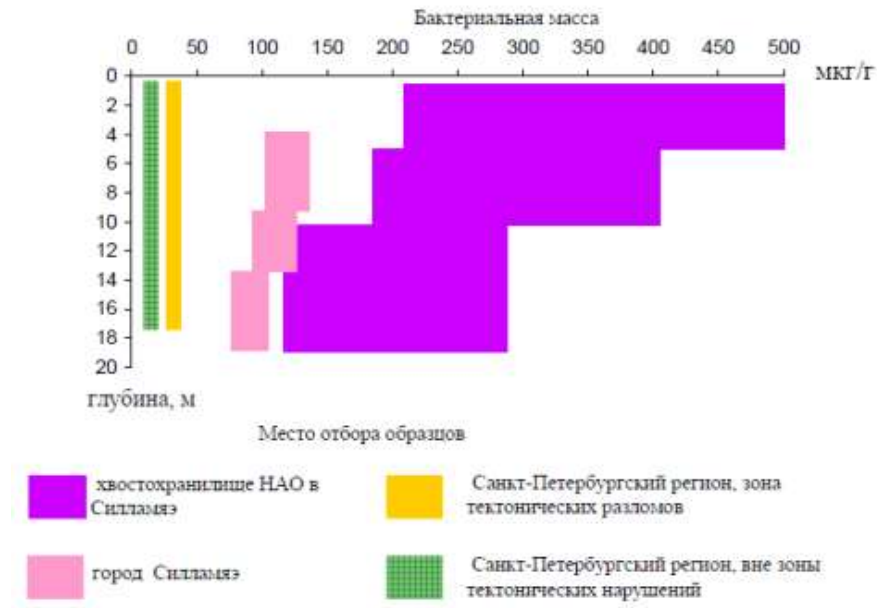


Рисунок 3.36 - Величина микробной массы по Бредфорду в нижнекембрийских синих глинах [69]

В свете вышеперечисленного, можно сделать вывод о том, что активизацию микробиологических процессов в зонах хранилищ НАО необходимо учитывать как негативный фактор, который будет способствовать снижению прочности и деформационной способности пород, а также повышать уровень биохимической коррозии конструкционных материалов с последующим разрушением защитных барьеров в хранилище.

Необходимо отметить, что преобразование глинистых пород за счет действия радиационных, физико-химических и биохимических факторов негативно сказывается на экранирующей способности этих отложений (повышается дезинтегрированность глин, их гидрофильность, повышается способность к набуханию), следствием этого может послужить радиоактивное загрязнение Ломоносовского водоносного горизонта, используемого для водоснабжения.

Проведенные на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать комплекс инженерно-геологических и геоэкологических критериев, которых необходимо учитывать для повышения безопасности эксплуатации хранилищ РАО в глинистых формациях:

- 1) степень дезинтегрированности толщи глин *in situ*;
- 2) фильтрационная проницаемость толщи как трещиновато-блочной среды;
- 3) диффузионная проницаемость трещиноватого массива;
- 4) сорбционная способность отдельных блоков;
- 5) устойчивость глин при радиационном воздействии;
- 6) устойчивость глин в агрессивных средах, формирующихся при радиолизе поровых вод;
- 7) устойчивость глин при повышении температуры;
- 8) устойчивость глин и защитных инженерных конструкций при активизации микробиологической деятельности;
- 9) степень сохранности водоупорных свойств вмещающих глин для прогноза возможности загрязнения водоносных горизонтов при миграции радионуклидов из хранилища РАО.

Анализ и учет вышеперечисленных критериев дали возможность убедиться в том, что толщу нижнекембрийских синих глин неправомерно считать надежной средой для захоронения РАО. В настоящее время планируется захоронение радиоактивных отходов в нижележащей толще верхнекотлинских глин верхнего венда, в которых в той или иной степени будут также проявляться все вышеперечисленные процессы.

3.4 Оценка длительной устойчивости наземных сооружений в зоне влияния подпорных гидротехнических сооружений

Присутствие палеодолин в подземном рельефе территории Предглинтовой низменности во многом определяет специфичность разреза четвертичной толщи и ее мощность, которая в тальвеговых зонах возрастает до 80 м и более. Соответственно, меняется и количество литолого-генетических типов песчано-глинистых пород, которые диктуют специфику их использования в качестве основании наземных сооружений.

Согласно многочисленным исследованиям, проведенным на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии, в условиях длительной контаминации

территории и в зависимости от её характера толща песчано-глинистых отложений претерпевает негативное преобразование, что обуславливает её неустойчивое состояние.

Переход здания детской городской больницы №22 в предаварийное состояние может послужить ярким примером негативной трансформации песчано-глинистых грунтов за счет влияния природных и природно-техногенных факторов в пределах описываемого региона.

3.4.1 Анализ перехода детской городской больницы № 22 в предаварийное состояние

Здание многопрофильной детской больницы №22 размещается на берегу р. Попова Ижорка, которая является левым притоком р. Ижора, крупного левого притока р. Невы.

Комплекс зданий детской городской больницы, построенной в 1992 году, состоит из 3-этажных блоков, примыкающих к 5-этажной центральной части главного корпуса (рисунок 3.37).



Рисунок 3.37 – Здание детской городской больницы №22

Фундаменты здания – ленточные на естественном основании с глубиной заложения от 2,7 м до 4,8 м (в бомбоубежище), либо отдельно стоящие. Действующее давление от сооружения по подошве меняется в пределах 0,16 - 0,19 МПа в зависимости от этажности. Только незначительная часть подземного объема, предназначенная для установки подъемников и прохода к ним, имеет бетонные полы, под остальным зданием выполнена песчаная отсыпка.

Согласно изысканиям, проведенным в 1986 Трестом ГРИИ и 2013 году (организацией «Геолстрой») разрез рассматриваемой территории характеризуется следующим строением (рисунок 3.38). Под мощным чехлом четвертичных отложений, представленным породами озерно-ледникового и ледникового генезиса, достигающим 30 метров, залегает толща нижекембрийских синих глин, встречающаяся на глубине от 19 до 30 м.

Особое внимание следует уделить наличию в разрезе между озерно-ледниковыми и моренными отложениями крупной линзы пылеватых песков с прослоями глинистых образований неустойчивой консистенции, выдержанную практически под всем контуром здания больницы и формирующую особые гидродинамические условия в разрезе рассматриваемого объекта. К линзе песков приурочен напорный водоносный горизонт, максимальные величины напора которого достигают 6 м с абсолютной отметкой до 11,5 м. Следует отметить, что пьезометрическая поверхность располагается выше пола подвала и, тем более, бомбоубежища.

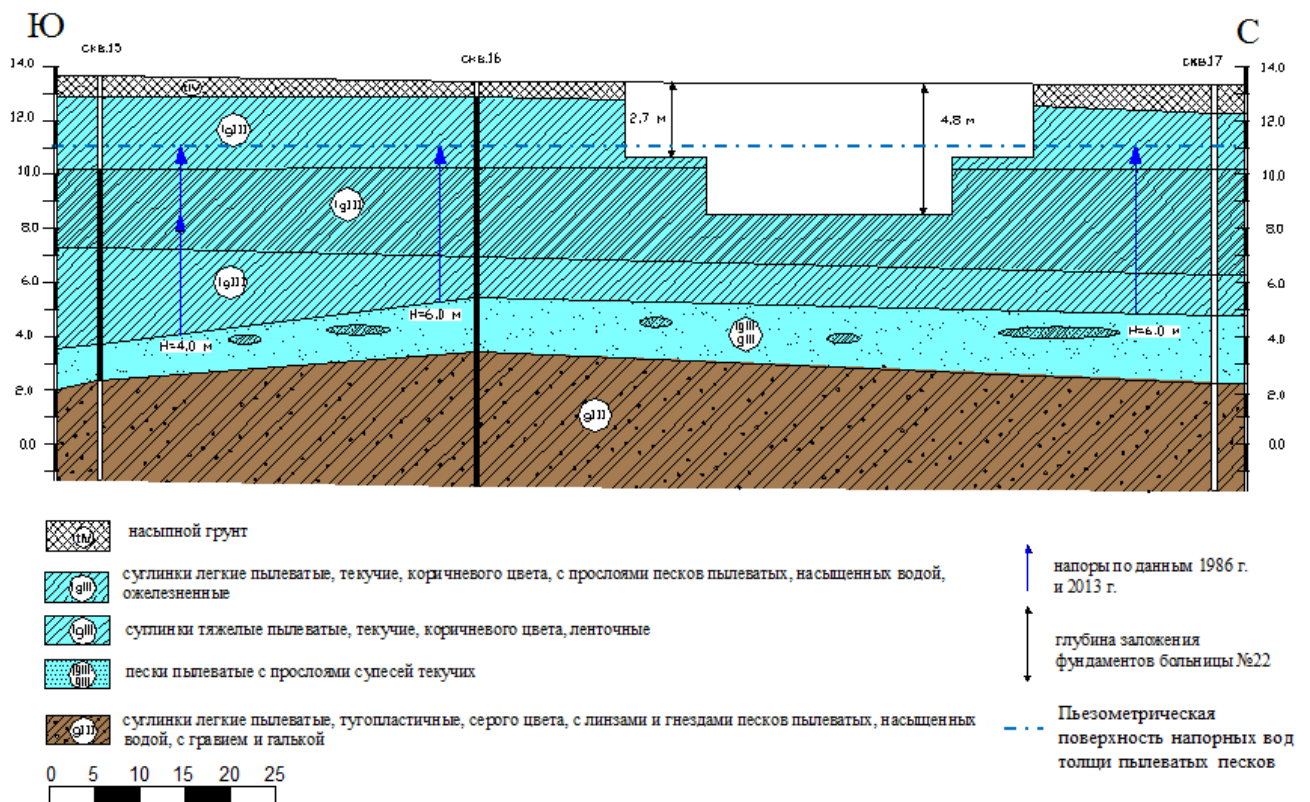


Рисунок 3.38 - Инженерно-геологический разрез основания и прилегающей территории детской городской больницы №22

Кроме того, в разрезе площадки можно выделить еще 2 водоносных горизонта: безнапорный в маломощных техногенных отложениях, залегающих на озерно-ледниковых грунтах валдайского оледенения и водоносный горизонт в песчаных прослоях озерно-ледниковых отложений московского оледенения, которые обладают напорами.

Следует обратить внимание на то, что при проектировании здания не были учтены особенности гидрогеологических условий, а также не выполнен анализ структурно-тектонической обстановки участка строительства и прилегающих территорий. Необходимо отметить, что все испытания образцов несущего слоя проводились по дренированно-консолидированной схеме согласно ГОСТу по производству испытаний глинистых грунтов на сдвиг, выпущенному в 1978 году, дающей завышенные значения углов внутреннего трения и, соответственно, расчетного сопротивления грунтов несущего слоя, вне зависимости от консистенции пород.

Подвальные помещения, бомбоубежища и вся территории больницы постоянно подтапливаются, с момента сдачи объекта в эксплуатацию и до настоящего момента в подвальных помещениях постоянно производится откачка воды системой насосов, здание больницы испытывает значительные и неравномерные осадки, приводящие к образованию трещин в конструкциях, к протечкам и обрушению облицовки (рисунок 3.39). Необходимо отметить, что



Рисунок 3.39 - Дефекты наземной и подземной части здания больницы

наблюдался переход в зыбучее состояние отсыпанных в подвале песков, когда персонал больницы проваливался в межфундаментном пространстве на глубину, превышающую 1,0-1,5 м.

По запросу администрации больницы проектным институтом «Геореконструкция» и Горным университетом был выполнен анализ причин перехода здания в предаварийное состояние.

В июле 2013 г. в ходе предварительного осмотра технического состояния здания было выполнено обследование подвалов больницы №22 для оценки микробной пораженности их стен и отбора проб разрушенных бетонов, штукатурки, а также отсыпанных песков пола подвалов. Во всех пробах микробная деятельность определялась косвенными и прямыми методами. Используемый косвенный метод предполагает определение содержания микробной массы (ММ) с помощью биохимического метода М. Бредфорда: $ММ = СБжк + СБмк + СБпм$, где СБжк, СБмк и СБпм – белок живых и мертвых клеток, а также продуктов их метаболизма соответственно.

Результаты определения ММ приведены в таблице 3.12. Величина ММ конструкционных материалов свидетельствует об их высокой степени микробной пораженности, хотя штукатурка и бетоны имеют невысокую сорбционную способность и отличаются малой степенью гидрофильности. Высокая пористость пенобетонов, служащих изоляцией труб теплотрассы, способствовала накоплению максимального количества микробного белка. По всей видимости, повышенные температуры активизировали рост мезофильных микроорганизмов, для которых $t = 35-40^{\circ}\text{C}$ рассматривается как наиболее оптимальная для их развития.

Таблица 3.12 - Содержание микробной массы (ММ) в конструкционных материалах и песках подвального помещения больницы

№ пробы	Описание пробы	Место отбора	ММ, мкг/г
1	Фрагмент штукатурка	У входа в подвал, стена пищевого блока	46,8
3	Фрагмент штукатурки	У входа в теплоцентр, корпус А	39,2
4	Фрагмент пенобетона	Теплоцентр, корпус А	113,9

Продолжение таблицы 3.12

№ пробы	Описание пробы	Место отбора	ММ, мкг/г
5	Фрагмент бетона (обетонка опоры)	Теплоцентр, корпус А	41,9
8	Песок	Камера временного хранения труб	30,7
9	Отсыпанный песок	В помещении у входа в подвал	40,4

Исследованные пески, несмотря на их среднезернистый состав (низкая сорбционная способность), также характеризуются высокой микробной пораженностью.

Прямой метод предполагает микологические исследования поврежденных строительных и других материалов из подвального помещения детской больницы города Колпино, которые были выполнены доктором биологических наук Власовым Д.Ю. в лаборатории биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

Было выявлено 34 вида микроскопических плесневых грибов (рисунок 3.40), что является крайне высоким показателем для зданий. Подавляющее большинство выявленных микромицетов известно как биодеструкторы различных материалов и условные патогены для человека. Во всех изученных пробах зафиксирована высокая численность колониеобразующих единиц, достигающая 5000 КОЕ в грамме материала [72].

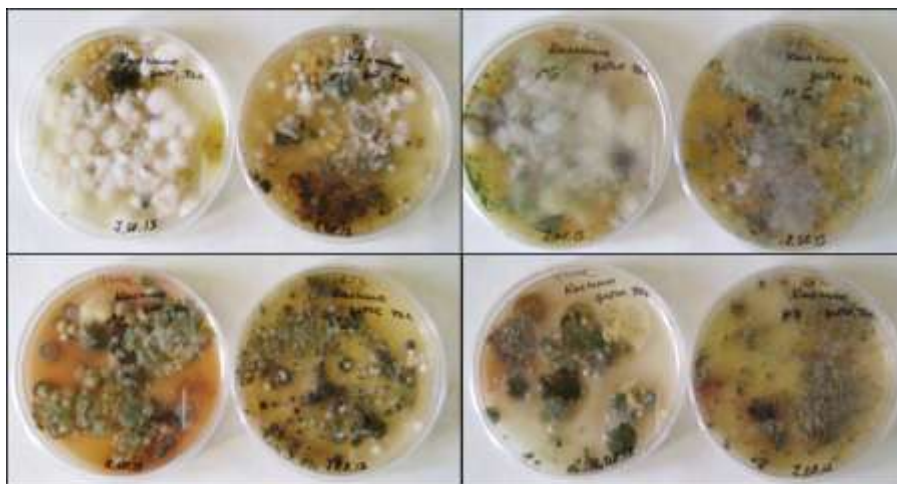


Рисунок 3.40 - Массовое развитие колоний плесневых грибов (пигментированных, свето- и темноокрашенных) [72]

Высокий уровень микробной пораженности разрушенных строительных материалов и отсыпанных в подвале песков может являться следствием капиллярного поднятия грунтовых вод, обогащенных микробиотой.

Согласно данным бурения и анализа структурно-тектонической обстановки участка здание больницы размещается в склоновой части погребенной долины (рисунок 3.41). Наличие погребенной долины приводит к усложнению инженерно-геологических условий за счет того, что обычно четвертичные отложения характеризуются неустойчивой формой консистенции в глинистых грунтах и плавунными свойствами в песках.

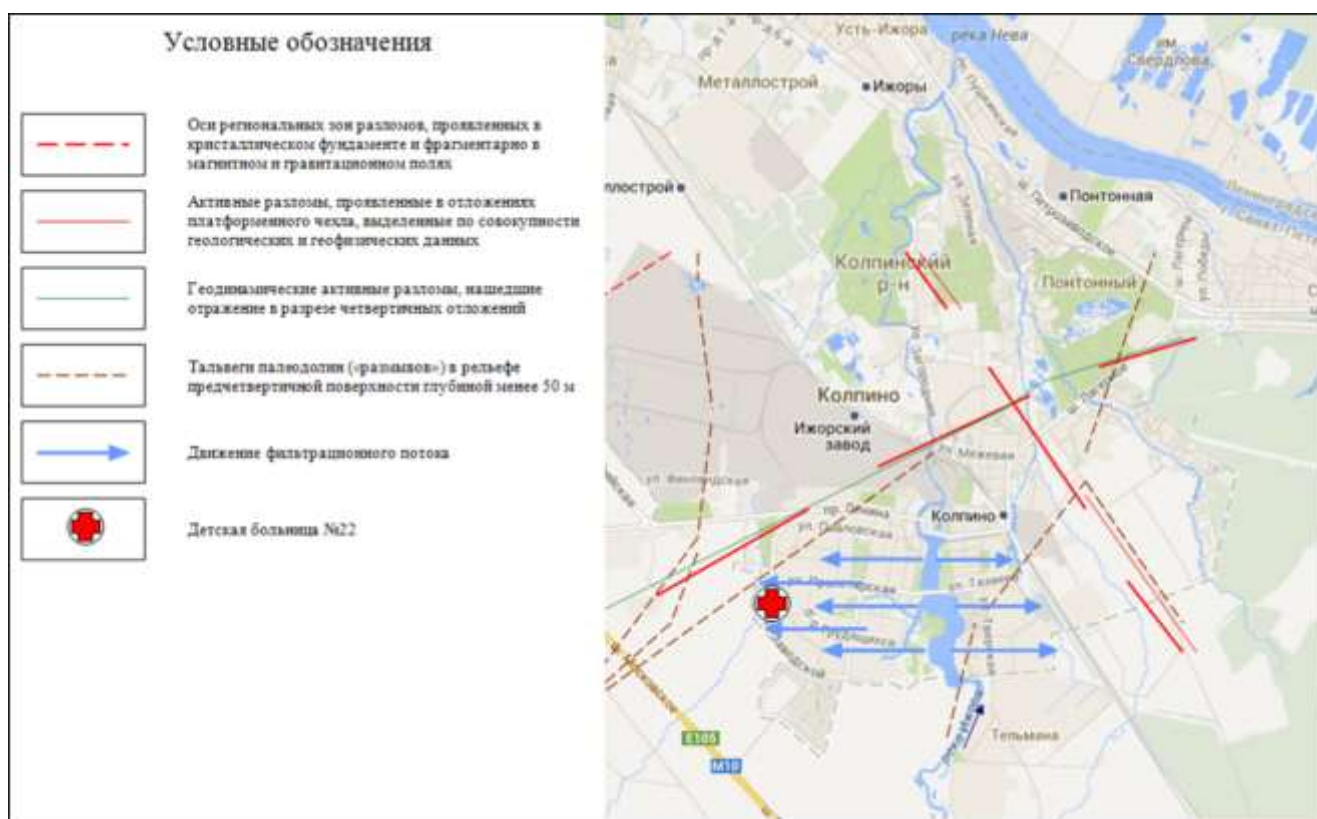


Рисунок 3.41 - Местоположение детской больницы №22 с указанием схемы фильтрации вод Ижорского водохранилища, а также линий активных тектонических разломов и палеодолин в районе г. Колпино

Обычно питание подземных вод в четвертичной толще происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков по всей площади распространения горизонтов. В данном случае постоянный дополнительный подток воды в подземные воды наблюдается из водохранилища (Ижорский пруд), которое было создано в начале 18 века на р. Ижоре для целей технического водоснабжения Ижорского завода. На рисунке 3.41 приведена схема фильтрации вод из

Ижорского водохранилища, находящегося в 2 км от больницы, что определяет гидродинамические условия водоносного горизонта в четвертичных отложениях.

Необходимо отметить, что воды Ижорского пруда загрязнены. Результаты исследований российского отделения Гринпис показали, что воды загрязнены тяжелыми металлами и органическими соединениями, в том числе нефтепродуктами. В Ижору ежегодно попадает около 39 млн. м³ сточных вод, в основном жидких хозяйственно-бытовых отходов.

За 200 лет функционирования этого относительно крупного водоема происходит постоянное подтопление территории за счет фильтрационного потока в западном направлении: в сторону местной дрены – р. Попова Ижорка (рисунок 3.42) и в восточном – р. Большая Ижорка.

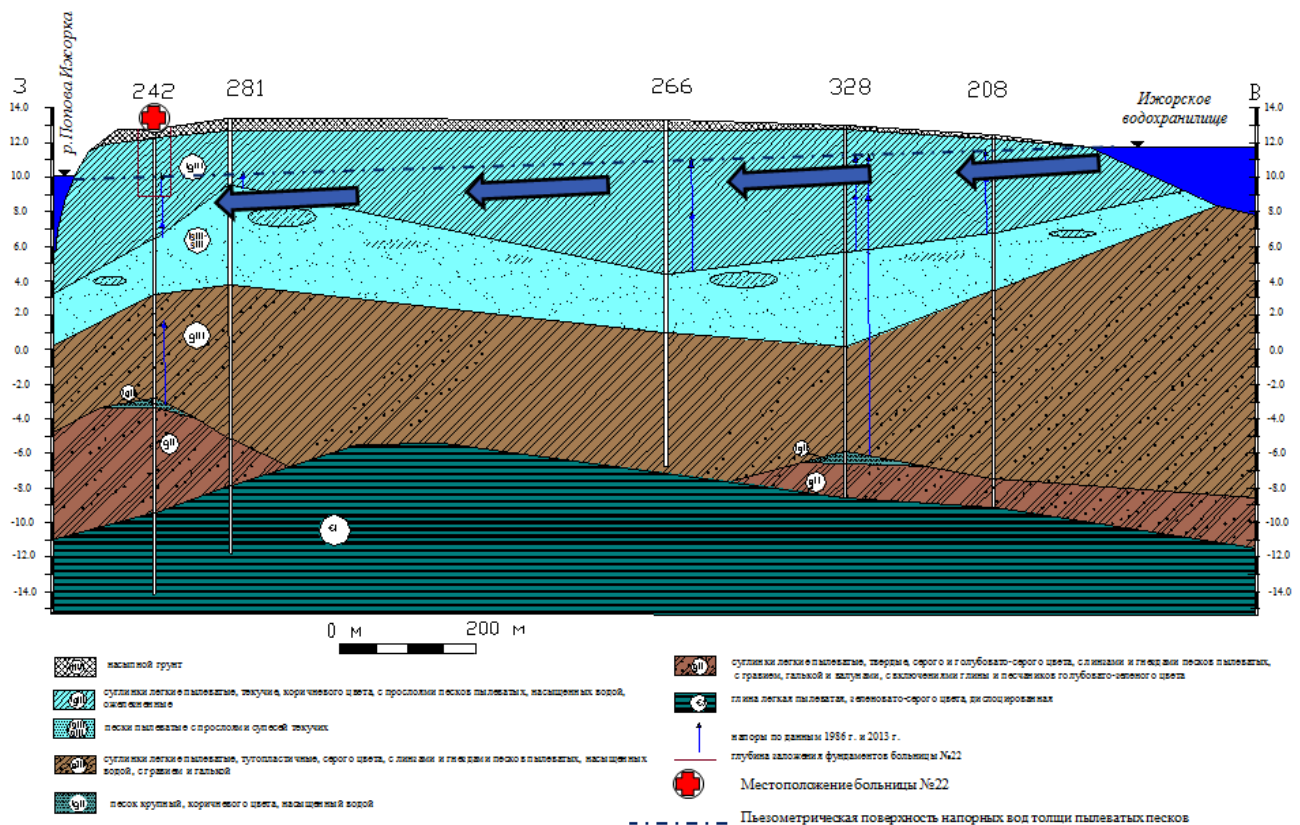


Рисунок 3.42 – Инженерно-геологический разрез Колпинского района от р. Попова Ижорка до Ижорского водохранилища

Напоры в пруде зависят от интенсивности снеготаяния и обильности атмосферных осадков, однако максимальный уровень в пруде регулируется системой водосбросных устройств, которые не допускают возможности перелива и затопления территории. Напоры, отмеченные в линзе песков в разрезе

территории больницы, близки к отметкам уровня вод водохранилища. Существует гидравлическая связь, формирующая зыбучие свойства песков и перекрывающих их слабых отложений.

Инженерно-геологические особенности рассматриваемой территории обусловлены месторасположением и историей формирования четвертичной толщи. Еще в конце 18 века (1792 г.) весь массив между р. Ижорой и р. Попова Ижорка был заболочен (рисунок 3.43), широкое развитие на этом водоразделе получили моховые болота и лес.



Рисунок 3.43 – Фрагмент карты Санкт-Петербургской губернии 1792 года. Красным крестом показано предполагаемое местоположение больницы №22 в г. Колпино

Как уже отмечалось ранее, наличие болот предопределяет негативное воздействие на физико-механические свойства подстилающих грунтов, которое прослеживается на глубину до 50 метров. Развитие болот влияет также на

химический состав подземных вод и их коррозионную агрессивность по отношению к конструкционным материалам.

В архивных материалах изысканий, выполненных в 1982 году, был дан химический состав подземных вод в сокращенной форме. Содержание легкоокисляемой органики (перманганатная окисляемость) составило 22 мгО₂/л, что свидетельствует о достаточно высоком количестве легкоокисляемой органической компоненты в подземной воде, которая формирует анаэробные условия в подземной среде, отрицательно воздействующие на грунты и конструкционные материалы.

В процессе бурения скважин для косвенных и прямых методов исследования наличия и степени микробной пораженности разреза рассматриваемой территории были отобраны грунты основания с различных глубин от 1 до 31 м.

Согласно результатам определений содержания суммарного белка косвенным методом, проведенных на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета, вся толща как четвертичных, так и коренных отложений также характеризуется высоким уровнем микробной пораженности. Величина микробной массы (ММ) варьируется в пределах 90,0 - 289,0 мкг/г.

Микробиологические исследования (микологический и бактериологический анализ), отобранных образцов, проводились на лабораторной базе Санкт-Петербургского государственного университета под руководством доктора биологических наук Власова Д.Ю.

Микологический анализ проводился с целью выявления состава и структуры сообществ микроскопических грибов, способных вызывать деструкцию материалов и конструкций. Результаты микологического анализа приведены в таблице 3.13.

Всего было выявлено 13 видов микромицетов, а также стерильные темноокрашенные формы грибов. Более половины выявленных видов микромицетов ранее были определены при исследовании образцов конструкционных материалов из подвальных помещений больницы, что лишний

раз подтверждает возможность их вторичного заселения этих помещений за счет взаимодействия грунтовых вод с материалами фундаментов и стен подвалов.

Таблица 3.13 - Состав и численность микромицетов в пробах грунтов из района Детской больницы № 22 г. Колпино [73]

№ пробы	Описание пробы	Место отбора пробы	Виды микромицетов	KOE
1	Суглинки ожелезненные (техногенный грунт)	Скв. 1, глубина отбора 1,0 м	<i>Alternaria alternata</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Mucor hiemalis</i> <i>Penicillium brevicompactum</i>	2500
2	Тиксотропный грунт (предполагаемый плавун)	Скв. 2, глубина отбора 9,0 м	<i>Mucor hiemalis</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Scytalidium lignicola</i> <i>Trichoderma viride</i>	1000
3	Тиксотропный грунт (предполагаемый плавун)	Скв. 1, глубина отбора 7,9 м	<i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Mucor hiemalis</i>	350
4	Морена (супесь)	Скв. 1, глубина отбора 12,0 м	<i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Epicoccum nigrum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Mucor racemosus</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Scytalidium lignicola</i> <i>Trichoderma viride</i>	2700
5	Нижекембрийская глина	Скв. 6, глубина отбора 31, 0 м	<i>Alternaria alternata</i> <i>Chrysosporium pannorum</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Epicoccum nigrum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Неспороносящий гриб</i>	4000

Среди перечисленных видов по показателям встречаемости и численности преобладают темноокрашенные грибы, что характерно для грунтов подверженных техногенному загрязнению [73]. Следует отметить заметное преобладание активных биодеструкторов, половина из которых считается

особенно опасной для любых строительных материалов. Неожиданные данные были получены при микологическом анализе пробы нижнекембрийских синих глин с глубины (31 м). Видовое разнообразие и численность грибов здесь оказались наиболее высокими по сравнению с количественным содержанием микробиоты в других слоях грунтовой толщи.

Бактериологический анализ грунтов осуществлялся на агаризованных (твердых) и жидких питательных средах, результаты которого свидетельствуют о высокой численности бактерий в большинстве изученных проб (табл. 3.14). Полученные ранее на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии результаты определения микробной массы по величине суммарного белка (ММ) соответствуют высокой численности бактерий, в которых фиксируется наиболее значительное содержание белка (60% и более) по сравнению с количеством белков в микромицетах.

Таблица 3.14 - Результаты прямого бактериологического анализа и косвенного анализа содержания суммарного белка отобранных по глубине разреза образцов

Описание пробы	Место отбора пробы	ГМФ	СрА	ПВА	СФ	ЖВ	ММ,м кг/г
Суглинки ожелезненные (отсыпка)	Скв. 1, глубина отбора 1,0 м	10 ⁵	10 ⁴	10 ⁴	10 ²	10 ²	256
Тиксотропный грунт (предполагаемый плавун)	Скв. 2, глубина отбора 9,0 м	10 ⁶	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁶	10 ³	284
Тиксотропный грунт (предполагаемый плавун)	Скв. 1, глубина отбора 7,9 м	10 ⁷	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁵	10 ⁴	289
Морена (супесь)	Скв. 1, глубина отбора 12,0 м	10 ⁵	10 ³	10 ⁷	10 ⁴	10 ⁴	154
Нижнекембрийская глина	Скв. 6, глубина отбора 31, 0 м	10 ³	10 ²	10 ²	10 ⁶	10 ⁷	90

Примечание: ГМФ – гидролизат мяса ферментативный (среда для широкого круга гетеротрофных бактерий), СрА – среда Александра (для силикатных бактерий), ПВА – пептонная вода агаризованная (для выделения аммонифицирующих гетеротрофных бактерий), СФ – среда для выделения сульфатредуцирующих бактерий, ЖВ – среда для выделения железовосстанавливающих бактерий, ММ – микробная масса.

Согласно полученным результатам толща водонасыщенных песков, в которой отмечается высокая численность гетеротрофных (рисунок 3.44), аммонифицирующих и сульфатредуцирующих бактерий, является наиболее микробно пораженной. Отмеченное повышение численности аммонификаторов в пробах предполагаемого плавунa, вероятно, связано с техногенным загрязнением пород основания.



Рисунок 3.44 - Выделение бактерий на среду ГМФ из образца № 3. Доминируют слизистые бактериальные колонии [73]

Зафиксированное заметное снижение численности грибов в пробе №3 (предполагаемый плавун) и одновременное увеличение количества бактерий может быть объяснено тем, что бактерии обильно развивались на средах для грибов и, вероятно, подавляли развитие микромицетов.

В образце, отобранном из верхней части толщи нижнекембрийских глин с глубины 31,0 м было отмечено высокое содержание анаэробных сульфатредуцирующих и железовосстанавливающих бактерий, что необходимо учитывать при анализе коррозионной способности подземной среды.

Таким образом, выявленная высокая микробиологическая пораженность предопределяет снижение прочности песчано-глинистых грунтов разреза и может служить причиной коррозии конструкционных материалов Детской больницы № 22. В микробных сообществах представлены аэробные и анаэробные формы, что указывает на возможность протекания коррозионных процессов в условиях различной доступности кислорода.

В ходе полевых наблюдений и лабораторных исследований было выявлено, что водонасыщенные пески являются тонкозернистыми разностями с содержанием пылевой фракции в пределах от 20% до 49%, с величиной коэффициента неоднородности от 4,67 до 7,50. Согласно полученным результатам гранулометрического состава пески могут быть отнесены к истинным плавунам, что подтверждают результаты седиментационного объема, который для отобранных при бурении образцов составил 20-22 см³.

При проведении инженерно-геологических исследований было выявлено, что озерно-ледниковые отложения, которые служат основанием эксплуатируемого здания, характеризуются как квазипластичные грунты, находящиеся в текучем и текучепластичном состоянии, имеющие углы внутреннего трения менее 4-5°, величина сцепления определяется содержанием глинистых фракций, величиной влажности и степенью их микробной пораженности и не превышает 0,015 МПа. Моренные отложения и нижнекембрийские синие глины также обладают низкими прочностными показателями, что непосредственно связано с историей геологического развития исследуемой территории и микробной пораженностью всей толщи.

Для оценки несущей способности фундаментов здания при использовании полученных параметров по формуле теории пластичности Л. Прандтля было определено расчетное сопротивление (R), величина которого варьировала в пределах 0,12 - 0,15 МПа и оказалась меньше величины действующего давления от сооружения ($p_{\text{соор}} = 0,16 - 0,19$ МПа). Полученные результаты свидетельствуют о том, что грунты основания сооружения находятся в стадии пластических деформаций, имеющих затухающий характер.

Наблюдаемое до настоящего момента подтопление подвальных помещений больницы свидетельствует о том, что ранее произведенное на территории больницы устройство кольцевого дренажа не выполняет своей функции. Согласно устным сведениям заместителя главного врача больницы №22 – подвальные помещения зданий, расположенных между Заводским проспектом и Ижорским водохранилищем также подвержены процессу затопления.

Основываясь на полученных полевых и лабораторных данных, на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии были составлены рекомендации по проведению реконструкции городской детской больницы №22 и необходимости снятия взвешивающего эффекта Ижорского водохранилища.

Согласно разработанным рекомендациям для обеспечения длительной устойчивости и предупреждения перехода зданий, расположенных между Ижорским водохранилищем и Заводским проспектом, в аварийное состояние, в первую очередь, необходимо снять гидродинамическое давление и максимально снизить взвешивающий эффект, т.е. осуществить региональный дренаж территории.

Один из вариантов регионального дренажа, обеспечивающего снижение гидродинамического давления и взвешивающего эффекта, является устройство «стены в грунте» по всей длине водохранилища, которая будет заглублена в нижнекембрийские глины не менее чем на 2 м. Конструкция «стены в грунте» должна быть обоснована результатами специальных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, выполненных на участке ее будущего расположения.

Затем для предупреждения перехода здания больницы в аварийное состояние должно быть снижено давление на грунты основания путем перехода на фундамент-плиту под всем контуром здания с учетом выбора наименее подверженного биокоррозии конструкционного материала, а также осуществлено устройство пластового дренажа вокруг здания больницы.

3.5 Выводы к главе 3

1. В настоящее время синие глины в пределах Предглинтовой низменности используются в качестве основания для гражданских, промышленных и транспортных сооружений, среды размещения автодорожного тоннеля, как формация для захоронения опасных промышленных отходов, а также до недавнего времени рассматривались как формация для подземного складирования радиоактивных отходов.

2. Обоснование длительной устойчивости сооружений различного назначения при их проектировании, строительстве и эксплуатации в пределах Предглинтовой низменности, для которых основанием либо средой сооружения служат синие глины, должно базироваться на анализе этих отложений как зональной по глубине, трещиновато-блочной среды с пониженными характеристиками прочности, деформационной способности и повышенной проницаемостью.

3. При проектировании сооружений, в частности гражданского строительства, необходимо иметь в виду возможность глубокой трансформации дезинтегрированной зональной по глубине толщи синих глин под влиянием различного вида контаминантов, в том числе канализационных стоков. В канализационных стоках синие глины интенсивно набухают и существенно снижают свою прочность. Под воздействие физико-химических и биохимических процессов они способны переходить в слабые разности, несущая способность которых может соответствовать глинистым отложениям малой степени литификации.

4. Согласно результатам инженерно-геологической оценки устойчивости эксплуатируемых транспортных сооружений в пределах Предглинтовой низменности недоучет на стадии проектирования таких важных составляющих оценки инженерно-геологических условий территории как структурно-тектонический фактор и прогнозирование проявления и активизации эндогенных и экзогенных процессов приводит к преждевременному выходу из эксплуатации рассматриваемых сооружений.

5. Анализируя особенности строения синих глин как среды для захоронения отходов, необходимо учитывать их относительно высокую проницаемость, а также низкую сорбционную и относительно низкую обменную способность. Синие глины не могут рассматриваться как надежный водоупор, следовательно, подземное захоронение отходов в этих отложениях может привести к региональным негативным последствиям - загрязнению

нижележащего ломоносовского водоносного горизонта, который используется для водоснабжения в регионе.

6. Сложность инженерно-геологических условий в восточной части Санкт-Петербургского региона в пределах Предглинтовой низменности обусловлена наличием погребенных долин в подземной рельефе кровли коренных пород, диктующих увеличение мощности четвертичных отложений и широкое развитие слабых песчано-глинистых отложений в разрезе рассматриваемой территории. Анализ причин перехода здания городской детской больницы №22 в г. Колпино в предаварийное состояние показал, что при проектировании сооружений в пределах исследуемого региона необходимо учитывать специфику геолого-генетического разреза четвертичных пород, геоэкологическую обстановку подземной среды, а также влияние старинных подпорных гидротехнических сооружений, определяющих особенности их использования в качестве основания наземных сооружений.

ГЛАВА 4 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПРЕДГЛИНТОВОЙ НИЗМЕННОСТИ ПО УСЛОВИЯМ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1 Инженерно-геологическое представление об уровне безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения

При проектировании и строительстве различного типа сооружений основной задачей является обеспечение их устойчивости на весь эксплуатационный период.

Вопросы, связанные с безопасностью строительства и последующей эксплуатацией зданий и сооружений различного назначения в последние годы находятся в центре внимания многих специалистов, главным образом, проектировщиков. Прежде всего, это связано с участвовавшими случаями преждевременного выхода из эксплуатации различных строительных объектов.

Безопасность строительства и эксплуатации здания и сооружений зависит от многих факторов. Прежде, чем рассматривать причины нарушения устойчивости и надежной эксплуатации строительных объектов необходимо иметь представление о понятии безопасности с инженерно-геологических позиций.

В геологическом словаре дается понятие **геологическая безопасность**, которая определяется как: «состояние защищенности жизни людей, животного и растительного мира, геологической среды, сооружений и др. от геологических процессов и явлений, угрожающих им или препятствующих их нормальному функционированию» [92].

В строительстве термин **безопасность** раскрывается с помощью понятий риска и угрозы. Безопасность означает отсутствие угрозы. Относительная безопасность достигается, если риск не превышает допустимого предела.

В качестве пояснения необходимо раскрыть значение следующих терминов:

Угроза – атрибут деятельности, которая может вызвать опасность. Угроза направлена на объекты – людей, материальные и культурные ценности, в том числе и на сооружения различного назначения [98];

Риск – мера величины угрозы. Риск – это функция частоты нежелательного события и его последствий, например, потери жизни, экономических потерь, социальных возмущений, экологического ущерба, кроме того, в это определение следует ввести также понятие риска по отношению к аварийности зданий [98].

В техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений рассматривается **безопасность механическая**, которая определяется как «состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью человека, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части» [95].

В приведенных определениях понятие безопасность рассматривается с позиций недопущения последствий развития процессов и явлений, препятствующих сохранению длительной устойчивости и эксплуатационной надежности сооружений и/или приводящих к их разрушению.

В то время как обеспечение **безопасности сооружений с инженерно-геологических позиций** должно базироваться на учете изменения подземной среды, рассматриваемой как многокомпонентная система, в зоне основания сооружения в процессе его строительства и эксплуатации, а также под воздействием природных и природно-техногенных процессов, негативно влияющих на состояние и свойства пород используемого подземного пространства, т.е. на предупреждении и прогнозировании, а не на ликвидации последствий опасных процессов и явлений.

Анализ геолого-литологического строения, инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических особенностей Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона позволил выделить

природные и природно-техногенные процессы, которые негативно влияют на породы основания, прежде всего, нижнекембрийские синие глины с позиций изменения состава, состояния и свойств пород, напряженного состояния толщи, влияния физико-химических и биохимических факторов (рисунок 4.1).

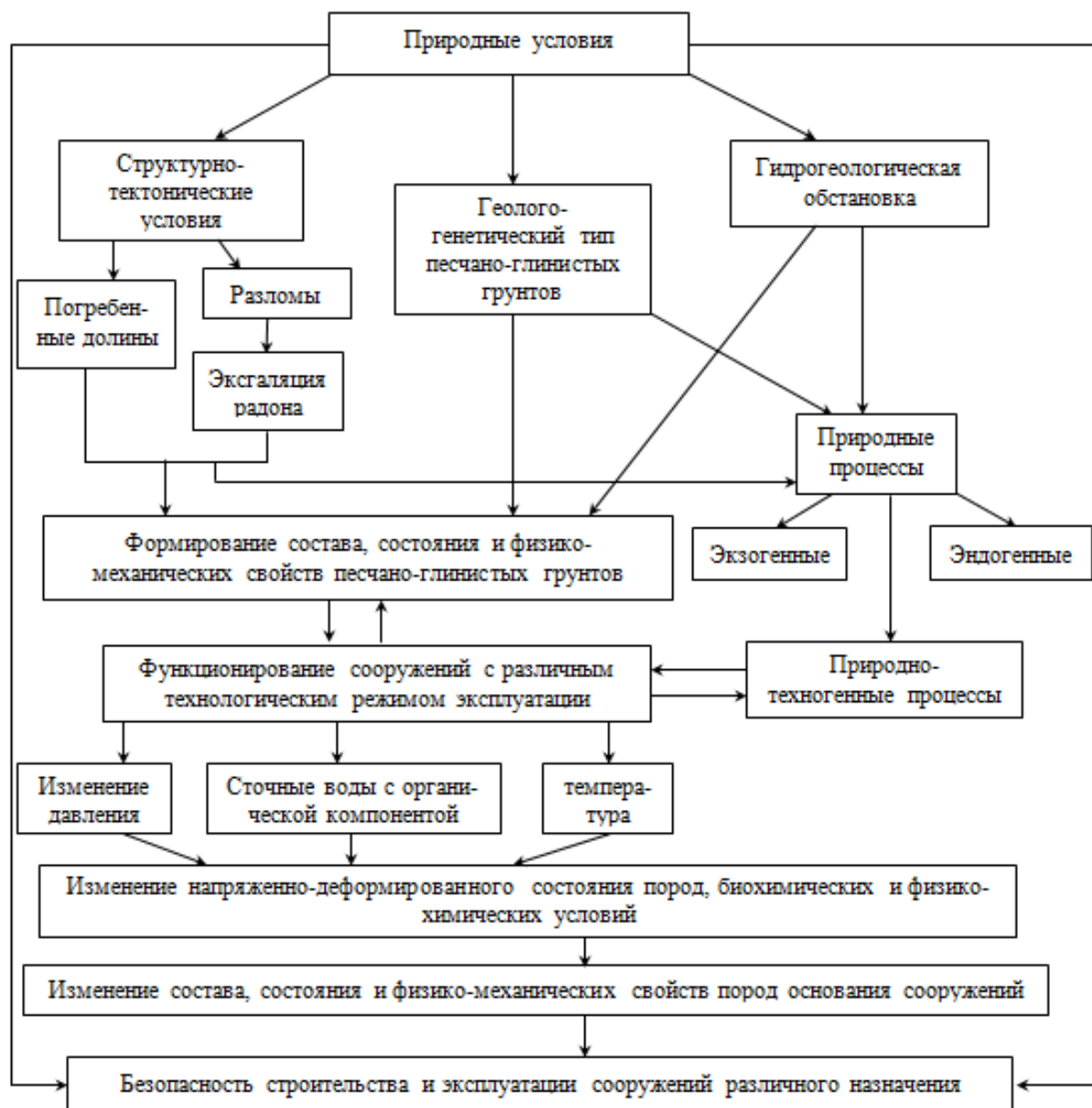


Рисунок 4.1 - Схематизация влияния природных и природно-техногенных факторов на обеспечение безопасности строительства и эксплуатации зданий и сооружений различного назначения в пределах Предглинтовой низменности

Подход к оценке коренных пород осадочного чехла, используемых в качестве основания либо среды сооружений различного назначения в пределах рассматриваемой территории, как к трещиновато-блочной среде, учет изменения основных компонентов подземного пространства в зоне основания сооружений

под воздействием природных и природно-техногенных факторов позволит обеспечить повышение уровня безопасности строительства и эксплуатации сооружений.

Следовательно, для повышения уровня безопасности строительства и эксплуатации сооружений необходимо выполнение комплекса мероприятий, направленных на регулирование природных опасных процессов и уязвимости компонентов подземной среды по отношению к различного вида контаминантам. Однако в ряде случаев природные опасные процессы не поддаются регулированию, как например, землетрясения, извержения вулканов. Некоторые природные опасности (наводнения, эрозии, оползни, сели) теоретически являются управляемыми, однако практическая реализация этой возможности на региональном уровне не представляется возможной. Значительно больше возможностей имеется в управлении уязвимостью. Поэтому большинство мероприятий по управлению природной безопасностью направлено на уменьшение уязвимости. В наибольшей степени поддаются управлению природно-техногенные процессы, поскольку они создаются самим человеком и, таким образом, являются управляемыми через регулирование хозяйственной деятельности. Важнейшими мероприятиями для этой цели являются: инженерно-геологическое районирование территорий и ее рациональное использование, разработка конкретных мероприятий по инженерной защите территорий и сооружений, повышение качества строительства, своевременное принятие управляющих решений и др.

4.2 Значение структурно-тектонической обстановки для целей инженерно-геологического зонирования

Особенности структурно-тектонического фактора определяют сложность инженерно-геологических условий Санкт-Петербургского региона, в том числе наличие разломов, в зоне которых прослеживается интенсивная трещиноватость коренных пород осадочного чехла, положение погребенных долин различной глубины, которые трассируются по разломам, радиоактивные и другие эманации газов, развитие «глиняного диапиризма».

Следовательно, подход к инженерно-геологической оценке разреза исследуемой территории, а также достоверность прогноза взаимодействия вмещающей толщи со зданиями и сооружениями различного назначения должен основываться не только на анализе её геолого-литологического строения, гидрогеологических особенностей и формирующихся в ней геоэкологических условий, но и на анализе структурно-тектонической обстановки рассматриваемой территории.

Расположение Санкт-Петербургского региона в тектонически напряженной геодинамической области сочленения Балтийского щита и Русской плиты предопределило существование достаточно высокой степени сгущения тектонических разломов различного порядка и простирания в кристаллическом фундаменте и осадочной толще описываемой территории и, как следствие, развитие опасных природных процессов.

Согласно структурно-тектонической карте А.Н. Шабарова и Е.К. Мельникова, построенной по данным геологических, геоморфологических и геофизических исследований, Большой Санкт-Петербург располагается в пределах широкого развития разломов северо-западного, запад-северо-западного, северо-восточного и субширотного, реже субмеридионального простирания (см. рисунок 1.10). Наличие системы разломов определяет дезинтегрированность коренных пород осадочного чехла, диктующую их повышенную водо- и газопроницаемость, а также способствующую снижению прочности и повышению деформируемости толщи, которая в южных районах города используется в качестве основания и среды зданий и сооружений различного назначения, и нарушает зональное строение толщи.

Ранее отмечалось, что территория Санкт-Петербургского региона относится к области с высоким уровнем радоноопасности, обусловленным структурно-тектоническим строением описываемого региона.

Наличие дезинтегрированных зон резко повышает коэффициент эманирования горных пород и минералов. В зонах тектонических разломов

(рисунок 4.2) и на площадях развития палеодолин значения содержания радона могут повышаться на порядки.

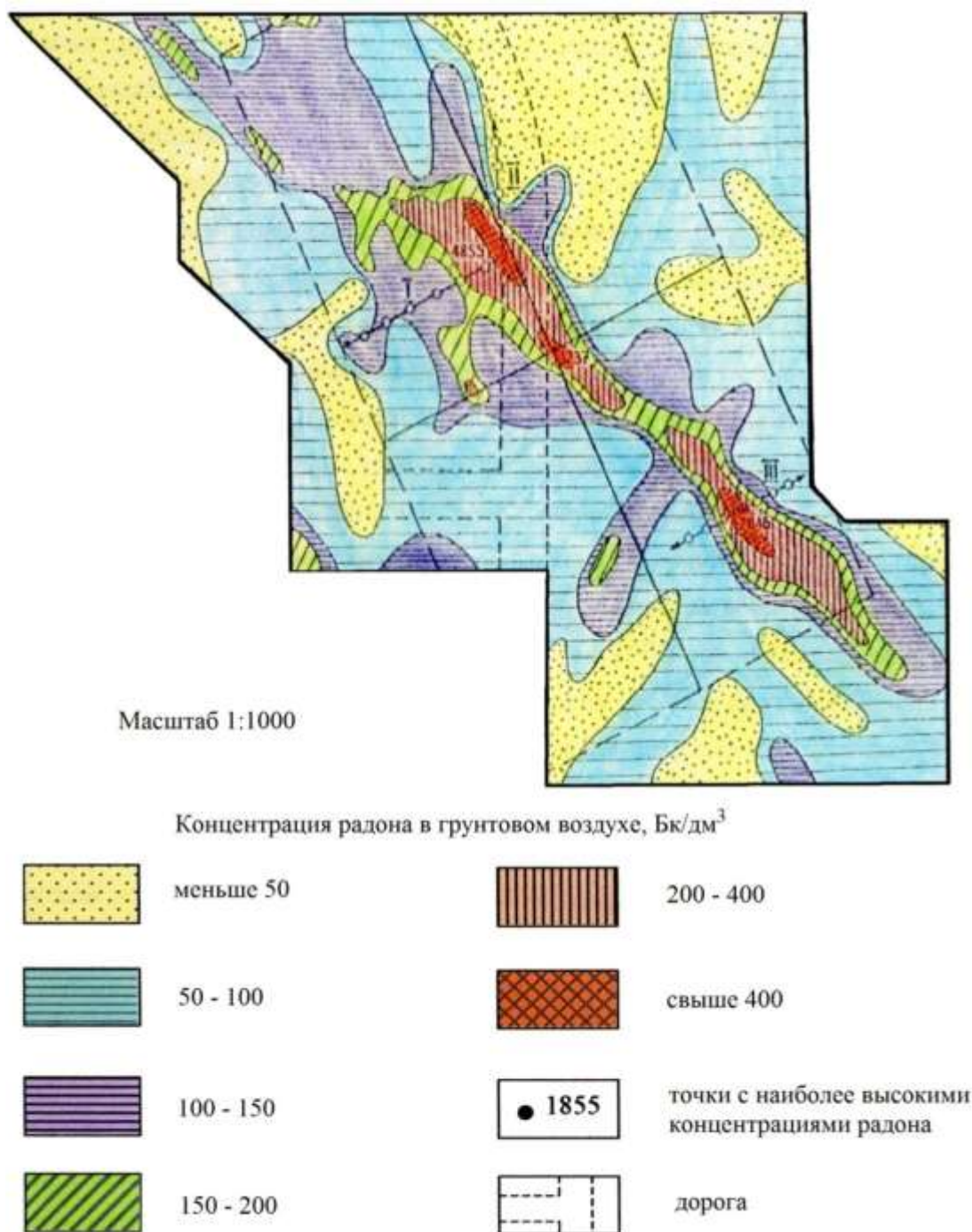


Рисунок 4.2 – Распределение радона в зоне азрации на участке детальных работ в юго-западной части Санкт-Петербурга (по данным ГПП Севзапгеология)[70]

С тектоническими разломами также связана специфика подземного рельефа коренных пород осадочного чехла верхнего венда и нижнего кембрия, что выражается в существовании погребенных долин различной глубины и протяженности. В разрезе погребенных долин отмечается максимальная

мощность четвертичных песчано-глинистых отложений, склонных к проявлению плавунных и тиксотропных свойств, что существенно затрудняет строительство сооружений различного назначения и требует применения специальных технологий [35].

В Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона палеодолины пререзают толщу нижнекембрийских синих глин только северо-восточной ее части (Обухово, Рыбацкое, Колпино).

Оценка и учет структурно-тектонических особенностей Предглинтовой низменности, которые определяют степень дезинтегрированности коренных пород, трассируют погребенные долины, а также обуславливают развитие природных и природно-техногенных процессов должны быть обязательным элементом комплекса работ, сопровождающих проектирование и строительство зданий и сооружений различного назначения на рассматриваемой территории.

4.3 Принципы инженерно-геологического зонирования территории Предглинтовой низменности для наземного строительства

Первые карты по инженерно-геологическому районированию Ленинграда (Санкт-Петербурга), дающие оценку степени пригодности отдельных частей города для наземного строительства жилых и общественных зданий, были составлены Северо-Западным геологическим управлением при участии Ленинградского Горного института и Треста ГРИИ в 1968 году в рамках проекта генерального плана развития Ленинграда на основе карт инженерно-геологических условий территории города.

Комплексная оценка всей совокупности природных факторов, влияющих на инженерную подготовку и условия строительства на том или ином участке, послужила основой выделения инженерно-геологических районов. Применительно к требованиям городского строительства были выделены следующие природные факторы: рельеф, грунты (породы), грунтовые воды, затопляемость, заболоченность и природные процессы и явления. [103]

Характер рельефа учитывался с помощью таких факторов, как величина уклона, особенности микрорельефа и степень изрытости, сильно влияющих на

решение планировочных задач. В соответствии с особенностями рельефа территории города были разделены на пригодные (с величиной уклона до 10%), ограничено пригодные (с величиной уклона 10-20%, изрытые и со сложным микрорельефом) и непригодные (величина уклона более 20%) для массовой застройки.

Согласно их физико-механическим свойствам грунты были выделены в 2 группы: 1) устойчивые и достаточно устойчивые, допускающие устройство фундаментов неглубокого заложения; 2) слабые по несущим свойствам или обладающие особыми физико-механическими свойствами, требующие при возведении на них зданий закрепления либо использования специальных фундаментов [103]. Территории распространения в активной зоне основания грунтов первой группы оценивались как пригодные, а территории развития второй группы грунтов – как ограничено пригодные.

По гидрогеологическим условиям территории города были отнесены к пригодным («сухим») с учетом глубины залегания уровня грунтовых вод более 2 м от поверхности и к ограничено пригодным (увлажненным или избыточно увлажненным) при залегании грунтовых вод на глубине менее 2 м. Следует отметить, что наличие и влияние напорных водоносных горизонтов в разрезе не учитывалось.

В зависимости от мощности торфяного покрова заболоченные территории подразделялись на ограничено пригодные (мощность торфа до 1,5 м) и непригодные (мощность торфа более 1,5 м).

Районирование по фактору затопляемости при наводнениях было обусловлено величинами абсолютных отметок поверхности, территории были охарактеризованы как пригодные с отметками +3 м, ограничено пригодные с отметками от +2 до +3 м и непригодными – до +2 м [103]. Возможность подтопления территории за счет барражного эффекта поверхностных и подземных вод, конденсации и концентрации влаги под зданиями, покрытиями, в материалах обратных засыпок фундаментов, а также инфильтрации талых и

дождевых вод в нижележащие породы при плохой организации водоотвода не рассматривалась.

Деление также осуществлялось с учетом проявления природных процессов (оползни, овраги, береговой подмыв) на территориях города, подразделяя их на территории с неактивными (древними) и активными (действующими) перечисленными процессами. В первом случае территории считались пригодными, во втором – непригодными. При делении территории эндогенные процессы не принимались во внимание.

Исходя из вышеизложенной методики на территории города Ленинграда были выделены три инженерно-геологических района по степени пригодности: пригодные для застройки территории, ограниченно пригодные и непригодные [103]. Дополнительно вводились буквенные обозначения определяющие развитие неблагоприятных природных факторов и отнесение территории ко второму и третьему району по степени пригодности.

В 1984-89 гг. на основе преемственности выделенных критериев при картировании северной части г. Ленинграда с целью обоснования плана градостроительства было проведено инженерно-геологическое районирование центральной и южной частей города [56, 65].

Районирование было направлено на выявления условий массового наземного строительства в пределах верхней части геологического разреза картируемой территории. С учетом геоморфологической привязки и гидрогеологических особенностей были выделены 4 комплекса условий наземного строительства (типа подземной среды). В пространственном распределении территорий с различными типами условий была выявлена четкая зональность, характерная лишь для южной части города, которая заключалась в том, что наиболее простые (благоприятные) инженерно-геологические условия I типа на юге и западе картируемой площади последовательно переходят в наиболее сложные (неблагоприятные) IV типа – на севере и востоке.

Четыре типа условий наземного строительства были выделены в соответствии с глубиной залегания надежного основания, представленного

осташковской мореной, а для I типа ещё и нижекембрийскими глинами: I – морена или глины залегают на глубине от 0 до 2 м и могут служить естественным основанием для сооружений; II – морена залегает на глубине от 2 до 7 м, при возведении тяжелых зданий необходим переход к свайным фундаментам; III – морена залегает на глубине от 7 до 15 м, рекомендуется устройство свайных фундаментов для основной массы зданий различной этажности; IV – глубина залегания морены более 15 м, при планировании возможного освоения отдается предпочтение малоэтажной застройке, в противном случае необходимо применение длинных свай, свай-оболочек и т.д. [65]

Кроме того, при разделении территории учитывались гидрогеологические условия (глубина залегания грунтовых вод, возможность подпора), а также наличие покровного или погребенного торфа, при этом влияние перечисленных факторов на гидродинамические, гидрогеохимические и геоэкологические условия, формирующиеся в осадочной толще, не оценивалось.

Описанный принцип районирования был положен в основу при составлении инженерно-геологической карты типизации условий наземного строительства, входящей в состав Геологического Атласа Санкт-Петербурга (рисунок 4.3).

Основой для составления карт, наряду с результатами инженерно-геологического картирования масштаба 1:25000, выполненного в восьмидесятые годы прошлого столетия, со специально проведенными полевыми работами (Кузьмин, Ломтадзе, 1989 г.), послужили материалы инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, выполненных за несколько предшествовавших десятилетий (Майорова, 1962 г; Шевченко, 1967 г).

Интенсивное развитие мегаполиса предполагает необходимость возведения высотных зданий при обязательном использовании подземного пространства. Сложность инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга при отсутствии опыта проектирования и строительства тяжелых зданий требует выделения территорий, перспективных и экономически оправданных для возведения таких сооружений [18].

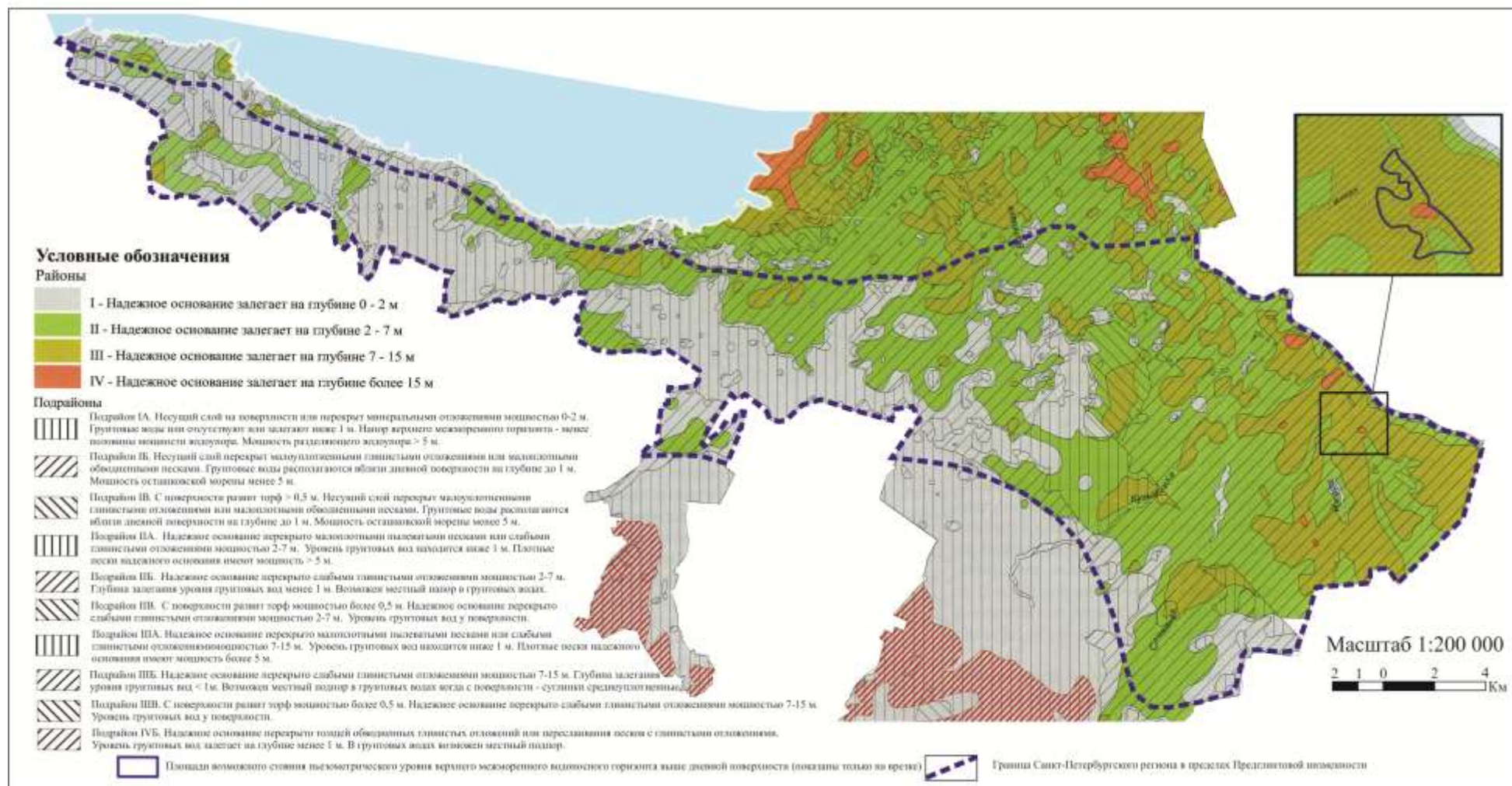


Рисунок 4.3 – Фрагмент карты районирования территории Санкт-Петербурга для наземного строительства (2009 г.) [9]

В 2006 г. специалистами ГУ НИПЦ «Генплана СПб» была составлена схема размещения высотных зданий вне исторического центра в виде доминантных кластеров без учета инженерно-геологических условий территории строительства, позволяющая гармонично сочетать здания разной высоты с их различными социально-экономическими функциями (рисунок 4.4) [45].



Рисунок 4.4 – Схема расположения доминантных кластеров, составленная ГУ НИПЦ «Генплан СПб»

Однако, при проектировании и строительстве высотных зданий, в первую очередь, необходим учет структурно-тектонических особенностей территории. Наличие тектонических разломов различного направления, к которым приурочены погребенные долины различной глубины, прорезающие толщу коренных глин нижнего кембрия и заполненные четвертичными отложениями, определяет сложность инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. Мощность четвертичных отложений в южной части города в зонах погребенных палеодолин увеличивается от их склоновой части к тальвегу и может превышать 80 м.

При освоении подземного пространства в пределах палеодолин возрастает вероятность проявления в песчаных отложениях плавунных свойств (наличие «истинных» и «ложных» плывунов), тиксотропии глинистых грунтов, прорывов

напорных вод и/или газов, а также активизации коррозионных процессов конструкционных материалов [46].

Следует отметить, что использование принципа районирования по глубине залегания надежного основания, представленного осташковской мореной, имеющей широкое распространение в пределах Предглинтовой низменности и находящейся под воздействием различных контаминантов, на современном этапе развития и освоения территории города не является корректным. Традиционная точка зрения о безопасности и надежности использования моренных отложений как основания либо среды сооружений различного назначения базируется на основе завышенных параметров сопротивления сдвигу при констатации устойчивых консистенций и высокой плотности этих отложений. Исследования, проведенные Горным университетом, показали, что механические свойства морен одного возраста могут существенно различаться в зависимости от их положения в разрезе, вида вышележащего грунта, а также их контаминации [15, 27, 32, 36, 39, 40].

Следовательно, принцип зонирования территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона должен основываться на глубине залегания кровли коренных отложений, как наиболее надежного и устойчивого основания.

Однако следует учитывать, что в пределах выделенной территории породы осадочной дочетвертичной толщи, представленные нижнекембрийскими синими глинами, песчаниками ломоносовского горизонта и верхнекотлинскими глинами верхнего венда, должны рассматриваться как трещиновато-блочная, зональная по глубине среда, при этом необходимо учитывать, что наличие и степень трещиноватости определяет изменение физических, механических и водных свойств коренной толщи.

Необходимо отметить, что одной из основных особенностей строения толщи плотных верхнекотлинских глин венда, как и для нижнекембрийских глин, является трещиноватость, определяющая проницаемость и снижение их несущей способности. Вне зон тектонических разломов верхнекотлинские глины

характеризуются зональным строением, с увеличением глубины интенсивность трещиноватости снижается, отмечается некоторый прирост плотности и снижение влажности глин [33, 45]. В зоне тектонических разломов интенсивность трещиноватости глин максимальна на всю глубину и часто нарушает зональное строение толщи. Верхняя часть разреза толщи коренных пород венда рассматривается как зона разуплотнения, её максимальная мощность составляет 40-50 м [33].

Особое внимание следует уделить песчаникам ломоносовского горизонта ($V_2 - \epsilon_2 \text{ lm}$), к которым приурочен напорный водоносный горизонт. Ломоносовская свита в разрезе южной части Санкт-Петербурга залегает между верхнекотлинскими глинами верхнего венда и нижнекембрийскими глинами, сложена переслаивающимися кварцевыми разномерными песчаниками, алевролитами и алевролитовыми глинами с голубовато-зеленовато-серой окраской [10]. Мощность толщи изменяется от 8 до 12 м. Главной особенностью описываемых отложений является трещиноватость и сильная раздробленность в узлах пересечения тектонических разломов [33]. В южной и юго-западной части города ломоносовский водоносный горизонт выходит под четвертичные отложения к югу от Финского залива полосой шириной 0,5 – 2,0 км, в пределах таких участков песчаники, как правило, разрушены до состояния песков, которые часто в водонасыщенном состоянии при воздействии напоров обладают плавунными свойствами, что может создавать дополнительные трудности при возведении зданий.

Минерализация ломоносовского водоносного горизонта не превышает 1,2-1,5 г/дм³, по составу воды горизонта характеризуются как гидрокарбонатно-хлоридные натриевые [10,33]. Присутствие хлоридов в подземных водах обуславливает их агрессивность по отношению к металлическим и железобетонным конструкциям.

Глубина заложения кровли коренных отложений в пределах Санкт-Петербургского региона определяется наличием в разрезе погребенных долин различной глубины. В пределах Предглинтовой низменности глубина заложения

кровли коренных пород изменяется от 0 до 50 м, реже более. В связи с этим, было выделено три типа зон в пределах рассматриваемой площади: I, I¹, I² типы - территории с близким расположением кровли до 20 м коренных отложений глин нижнего кембрия, ломоносовских песчаников и глин верхнего венда, соответственно, что характерно для участков вне палеодолин, II, II¹, II² типы участков с положением кровли - от 20 м до 40 м (области, приурочены к склоновой части палеодолины или зонам тальвега ее притоков), III, III¹, III² типы площадок характеризуются глубоким заложением кровли коренных пород более 40 м, приуроченных к склоновой и тальвеговой части глубоких погребенных долин (рисунок 4.5).

В обозначения типов зон индексы 1 и 2 были введены для литологического разделения выделенных по глубине залегания кровли ломоносовских песчаников и верхнекотлинских глин верхнего венда, соответственно.

Разнообразие генетических типов, мощность четвертичных песчано-глинистых отложений различного состояния часто с неустойчивой формой консистенции и количество водоносных горизонтов определяется глубиной вреза палеодолин. В пределах выделенных типов было выполнено деление на подтипы по глубине залегания кровли дочетвертичных отложений через каждые 10 м, обусловленное необходимостью принятия эффективных и экономически выгодных решений при обосновании типов фундаментов и устройстве котлованов для наземных сооружений различного назначения.

Таким образом, в пределах участков первого типа выделено 2 подтипа: кровля нижнекембрийских синих глин (Ia), ломоносовских песчаников (I¹a) и верхнекотлинских глин верхнего венда (I²a) располагается на глубине до 10 м; глубина залегания кровли синих глин (Iб), ломоносовских песчаников (I¹б) и верхнекотлинских глин (I²б) составляет 10 - 20 м. Второй тип был также разделен на 2 подтипа: глины нижнего кембрия (IIa) и песчаники (II¹a), а также глины верхнего венда (II²a) вскрываются на глубине 20 – 30 м; ломоносовские песчаники (II¹б), глины нижнего кембрия (IIб) и верхнего венда (II²б) располагаются на глубине 30 - 40 м.

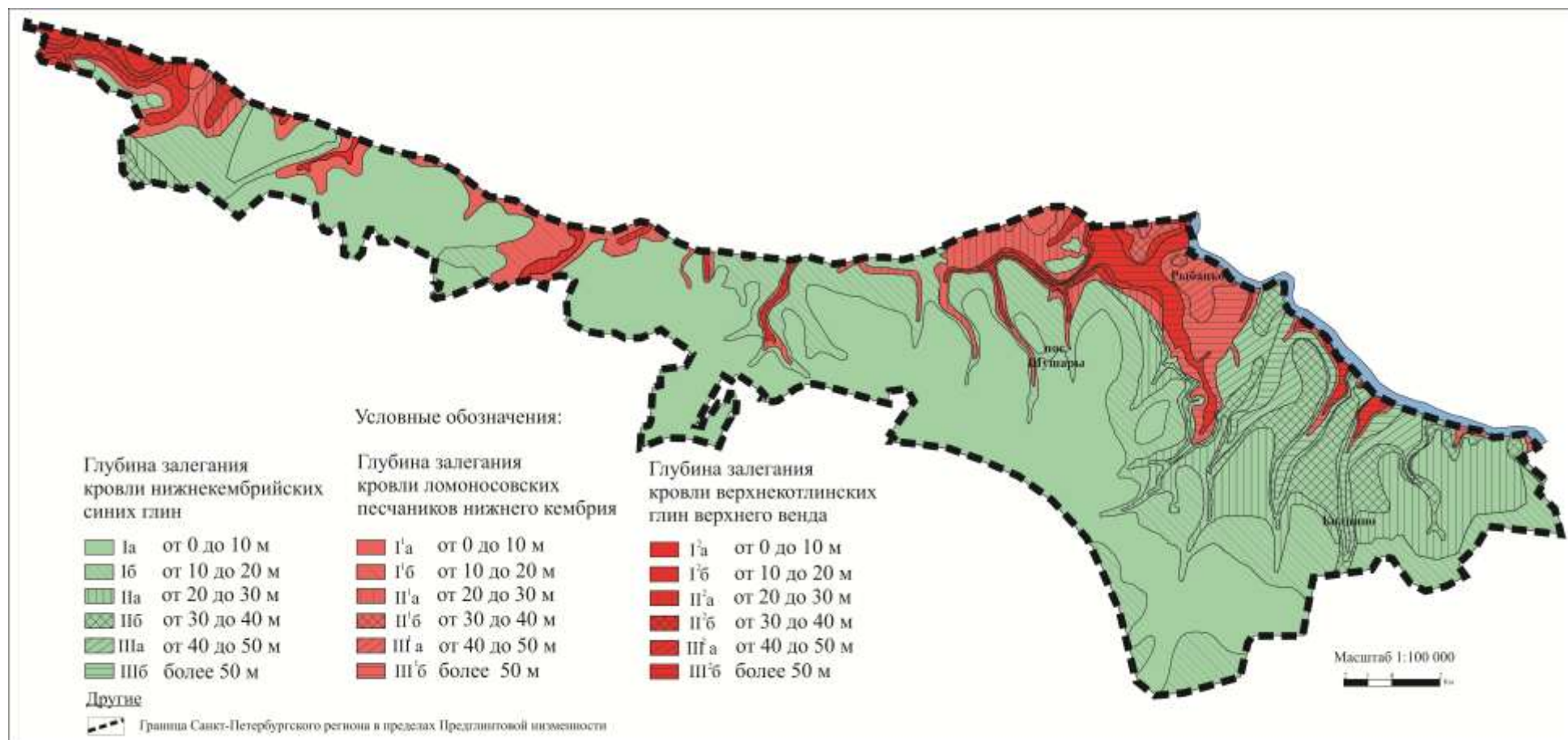


Рисунок 4.5– Схематическая карта зонирования территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона с учетом глубины залегания кровли коренных пород

Третий тип, связанный с глубоким положением кровли коренных пород был разбит на 2 подтипа: глубина залегания кровли нижнекембрийских глин (IIIa) и ломоносовских песчаников (III¹a), а также верхнекотлинских глин (III²a) фиксируется в пределах 40 - 50 м; синие глины (IIIб), ломоносовские песчаники (III¹б) и верхнекотлинские глины (III²б) вскрываются на глубине более 50 м.

Дальнейшее ранжирование третьих типов не производилось, в связи с тем, что при освоении подземного пространства в пределах таких участков значительной глубиной залегания надежного основания продиктована необходимость применения сложных проектных решений и больших экономических затрат. При возведении тяжелых зданий тальвеговые зоны глубоких палеодолин (III, III¹, III² типы) должны быть исключены из рассмотрения, выделенные типы могут использоваться только при малоэтажной застройке.

Выделенные в толще дочетвертичных отложений участки I типа могут быть отнесены к относительно благоприятным для строительства сооружений различного назначения. Предлагается рекомендовать две подзоны с мощностью перекрывающих четвертичных отложений от 0 до 10 м (Ia, I¹a, I²a) и от 10 до 20 м (Iб, I¹б, I²б). При устройстве фундаментов и строительных котлованов необходимо учитывать зональное строение вне зон влияния тектонических разломов и степень дезинтеграции толщи коренных глин, эти факторы следует рассматривать как определяющие их прочность и несущую способность. Участки I типа, выделенные в песчаниках ломоносовского горизонта, не могут считаться пригодными для высотного строительства, под влиянием напоров водонасыщенные разрушенные песчаники обладают плавунными свойствами, что необходимо рассматривать как фактор, предопределяющий возможность их прорыва при проходке котлована.

Дальнейшее увеличение глубины залегания кровли коренных пород снижает уровень пригодности территории для её освоения, поскольку площади с развитием инженерно-геологических условий II типа характеризуются значительной мощностью слабых песчано-глинистых отложений, наличием

напорных водоносных горизонтов залегающими под коренными трещиноватыми глинами нижнего кембрия (ломоносовский водоносный горизонт) и верхнего венда (вендский водоносный комплекс), либо непосредственно под четвертичными отложениями, что может приводить к прорывам напорных вод в глубокие котлованы, а также восходящему перетеканию агрессивных по отношению к материалам фундаментов вод через трещиноватые глины, в том числе по зоне контакта свай и вмещающей породы. Кроме того, необходимо учитывать влияние биохимической газогенерации в четвертичной толще при её техногенном загрязнении органической компонентой. Действие газодинамического давления может приводить к снижению прочности песчано-глинистых отложений, а также к прорывам вод и грунтов. Следует отметить, что согласно проведенным на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии исследованиям, при наличии водозащитного глинистого целика мощность менее 5,0 м даже невысокие напоры до 10 м в водонасыщенной толще могут вызвать прорывы со стороны дна котлована, при меньших напорах необходимо учитывать постепенное ослабление прочности пород целика и возможный подъем дна котлована. Основываясь на перечисленных факторах, в пределах выделенного типа не рекомендуется возведение высотных зданий.

Зоны III, III¹ и III² типа относятся к территории с неблагоприятными условиями строительства, а также должны быть исключены из рассмотрения при возведении высотных зданий, в связи с мощностью четвертичной толщи более 40 м, которую следует рассматривать как неустойчивую к различным техногенным воздействиям, наличием напорных водоносных горизонтов, обуславливающих возможность прорыва вод в котлован, необходимостью применения специальных инженерных решений и больших экономических затрат при возведении сооружений.

Кроме того, для территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона проводилось зонирование по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов, осложняющих условия

строительства и снижающих эксплуатационную надежность сооружений различного назначения (рисунок 4.6).

На основании теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета при участии автора работы, по установлению и систематизации природных и природно-техногенных процессов в пределах исследуемой территории все диагностируемые процессы по критерию опасности были разделены на три группы: ПОЭ – проблематично опасные эндогенные процессы, ОЭкз – опасные экзогенные процессы и C_H Экз – экзогенные процессы со средним и низким уровнем опасности (см. пункт 2.1).

Дальнейшее разделение выделенных зон на подзоны осуществлялось в зависимости от распространения на ней того или иного вида процессов. В пределах рассматриваемой территории к первой группе проблематично опасных процессов были отнесены: ПОЭ-1 – радоноопасность, ПОЭ-2 – «глиняный диапиризм»; во второй группе выделены: ОЭкз-1 – оползневые деформации, ОЭкз-2 – заболачивание, ОЭкз-3 – плывуны и к третьей группе со средними и низкими уровнями опасности отнесены: C_H Экз-1 – подтопление, C_H Экз-2 – боковая (речная) эрозия.

В группе проблематично опасных эндогенных процессов радоноопасность (ПОЭ-1), наиболее интенсивно проявляющаяся в зонах тектонических разломов, занимает особое место. Поступление радиоактивных эманаций в приповерхностные слои разреза Предглинтовой низменности приводит к интенсификации микробиологической деятельности, что отрицательно влияет на состояние и физико-механических свойств как четвертичных, так и коренных пород. Кроме того, присутствие радона в подвальных и первых этажах помещений негативно сказывается на комфортности проживания.



Рисунок 4.6 - Схематическая карта зонирования территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов

Следует отметить, что участки с развитием «глиняного диапиризма» (ПОЭ-2) должны быть исключены из реестра освоения в связи с тем, что выдавливание глин диктует разрушенность структурных связей в этой породе, что определяет ее низкие показатели прочности и деформационной способности, а также неустойчивость к физико-химическим и биохимическим факторам. Расслоенность и трещиноватость глин в диапировых структурах создает условия для формирования относительно высокой проницаемости, не характерной обычно для такого типа пород.

Проявление и развитие на территории Предглинтовой низменности стабилизировавшихся и активно развивающихся оползневых деформаций (ОЭкз-1), процессов заболачивания (ОЭкз-2), а также пlyingунов (ОЭкз-3) определяют уровень безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения.

Для территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона чрезвычайно сложно решать задачу стабилизации оползневых процессов, поскольку причиной их развития и активизации служат не только наличие относительно крутых склонов по берегам рек и непосредственно Балтийско-Ладожского глинта, но и такие техногенные факторы как пригрузка естественных склонов при возведении зданий и сооружений, использование приоткосной части в хозяйственной деятельности и т.д..

При освоении заболоченных территорий, как известно, ликвидация болот и заболачивания не приводит к улучшению условия строительства и эксплуатации сооружений, поскольку их негативное влияние переводит даже устойчивые, относительно прочные коренные глинистые отложения в квазипластичные разности, а песчаники в глинистые пески.

Переход песчано-глинистых четвертичных отложений в пlyingунное состояние в пределах описываемой территории происходит не только под воздействием микробной компоненты, но и формирования гидродинамического давления за счет старинного водохранилища (Колпинский район), что значительно затрудняет строительство и эксплуатацию сооружений и требует

применения специальных технологий. Важно отметить, что ломоносовские песчаники, разрушенные в зонах тектонических разломов до состояния песков также обладают плавунными свойствами.

Согласно проведенным исследованиям к наиболее распространенным в пределах Предглинтовой низменности экзогенным процессам со средним и низким уровнями опасности отнесены процессы боковой (речной) эрозии ($C_HЭкз-1$) и подтопление ($C_HЭкз-2$) в пределах застроенной территории. Речная эрозия проявляется на всех реках рассматриваемой территории, способствуя развитию оползневых деформации на склонах рек, сложенных глинистыми грунтами. Подтопление приводит к дополнительному ухудшению состояния и свойств грунтов основания, изменению их напряженного состояния, что, в свою очередь, влияет на устойчивость сооружений. Особое внимание следует уделить Колпинскому району, где причиной подтопления освоенной территории служит постоянный подток воды из Ижорского водохранилища.

Выполненное зонирование территории Предглинтовой низменности по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов способствует повышению достоверности их прогнозирования, безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения, а также позволяет разработать мероприятия по снижению негативных последствий их проявления.

4.4 Выводы к главе 4

1. Вопросы, связанные с безопасностью строительства и последующей эксплуатацией зданий и сооружений различного назначения в последние годы находятся в центре внимания многих специалистов, главным образом, проектировщиков. Обеспечение безопасности с инженерно-геологических позиций должно базироваться на учете изменения подземной среды, рассматриваемой как многокомпонентная система, в зоне основания сооружения в процессе его строительства и эксплуатации, а также под воздействием природных и природно-техногенных процессов, негативно влияющих на состояние и свойства пород используемого подземного пространства, т.е. на предупреждении

и прогнозировании, а не на ликвидации последствий опасных процессов и явлений.

2. Повышение уровня безопасности строительства и эксплуатации сооружений может быть обеспечено комплексом мероприятий, направленных на регулирование природных опасных процессов и уязвимости компонентов подземной среды по отношению к различного вида контаминантам. Для этих целей применяют следующие мероприятия: инженерно-геологическое районирование территорий и ее рациональное использование, инженерная защита территорий и сооружений, повышение качества строительства, своевременное принятие управляющих решений и др.

3. Учет особенностей структурно-тектонической обстановки исследуемой территории, играет огромную роль при выполнении инженерно-геологического зонирования, поскольку структурно-тектонический фактор определяет сложность инженерно-геологических условий Санкт-Петербургского региона, в том числе наличие разломов, в зоне которых прослеживается интенсивная трещиноватость коренных пород осадочного чехла, положение погребенных долин различной глубины, которые трассируются по разломам, радиоактивные и другие эманации газов, развитие «глиняного диапиризма».

4. В основе инженерно-геологического зонирования, как правило, лежит оценка комплекса природных факторов, влияющих на инженерную подготовку и условия строительства на том или ином участке, а именно: рельеф, грунты (породы), грунтовые воды, затопляемость, заболоченность и природные процессы и явления. При этом не оценивается изменение гидродинамических и гидрохимических условий грунтов и подземных вод под воздействием различных природных и природно-техногенных факторов, а также не учитывается структурно-тектоническая обстановка территории.

5. Использование принципа районирования по глубине залегания надежного основания, представленного осташковской мореной, имеющей широкое распространение в пределах Предглинтовой низменности и находящейся под воздействием различных контаминантов, на современном этапе развития и

освоения территории города не является корректным. В качестве надежного и устойчивого основания необходимо рассматривать коренные отложения осадочного чехла, представленные в пределах рассматриваемой территории нижнекембрийскими синими глинами, песчаниками ломоносовского горизонта и верхнекотлинскими глинами верхнего венда. При этом необходимо учитывать, что наличие и степень трещиноватости коренных пород определяет изменение их физических, механических и водных свойств.

6. На основании анализа структурно-тектонических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий было произведено зонирование территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов, а также была построена схематическая карта зонирования территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона для безопасного строительства наземных сооружений на основе информации о глубине залегания кровли коренных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решается актуальная задача повышения безопасности освоения подземного пространства и обеспечения длительной устойчивости проектируемых и эксплуатируемых сооружений различного назначения на территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона. Полученные в ходе исследований научные и практические результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Отмечается, что в настоящее время в южных районах Санкт-Петербурга, приуроченных к Предглинтовой низменности, объектом многоцелевой инженерной деятельности в качестве естественного основания для гражданских, промышленных и транспортных сооружений, среды размещения транспортных сооружений, как формация для захоронения опасных промышленных отходов используются нижнекембрийские синие глины. Кроме того, ведется, либо проектируется строительство сооружений различного назначения, таких как кольцевая автомобильная дорога, гражданские здания, планируется проектирование тоннелей метрополитена. Вместе с тем, для обеспечения безопасного строительства и эксплуатации на заданный период времени сооружений различного назначения, в том числе уникальных требуется новый научно-практический подход к анализу и оценке инженерно-геологических условий подземного пространства Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона и проведение зонирования территории по степени опасности развития инженерно-геологических процессов.

2. Проанализирована история геологического формирования Предглинтовой низменности и её структурно-тектоническая обстановка, определяющая особенности и сложность инженерно-геологических условий исследуемой территории. Отмечено, что расположение Санкт-Петербургского региона на стыке Балтийского щита и Русской плиты, а также нахождение рассматриваемой территории в зоне трансконтинентального Лапландско-Нильского линеамента предопределило развитие системы разнонаправленных

региональных и субрегиональных разломов различных направлений и, как следствие, развитие эндогенных и экзогенных процессов. Система тектонических разломов, прослеживающаяся в осадочном чехле Предглинтовой низменности, предопределила наличие и степень дезинтегрированности коренных синих глин нижнего кембрия и верхнекотлинских глин верхнего венда. Подчеркивается, что присутствие древних погребенных долин в подземном пространстве северо-восточной части исследуемого региона во многом формирует специфичность разреза четвертичной толщи и, следовательно, особенности её использования в качестве основания и среды сооружений, а также степень защищенности ломоносовского и нижнекотлинского водоносных горизонтов.

3. На основе теоретических и экспериментальных исследований произведена оценка состава, состояния и физико-механических свойств нижнекембрийских синих глин. Анализ опыта наблюдений и экспериментальные исследования показали, что существенные изменения состояния и свойств нижнекембрийских синих глин происходят под воздействием ряда природных и техногенных факторов. Указывается, что коренные глины нижнего кембрия в практике строительства и эксплуатации сооружений различного назначения должны рассматриваться как трещиновато-блочная среда, имеющая зональное строение по глубине, которое часто нарушается в зонах тектонических разломов. При этом необходимо учитывать, что трещиноватость определяет изменение физических, механических и водных свойств толщи. Отмечается, что при оценке устойчивости сооружений на трещиноватых глинистых отложениях следует рекомендовать исследование их прочности и деформационной способности только в условиях трехосного сжатия с возможностью бокового расширения для оценки влияния микротрещиноватости, проведение исследований масштабного эффекта, учет макротрещиноватости с помощью полевых испытаний, либо специального коэффициента структурного ослабления, а также использование специально выведенных для учета трещиноватости формул.

4. В ходе проведения оценки инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности установлено, что к четвертичным отложениям

требуется дифференцированный подход в зависимости от условия их формирования и степени техногенной пораженности. Инженерно-геологическая оценка четвертичной толщи должна базироваться не только на рассмотрении геолого-генетической принадлежности этих отложений, но и на обязательном анализе содержания природной органической компоненты в песчано-глинистых образованиях.

5. Произведена диагностика и составлена систематизация действующих и прогнозируемых природных и природно-техногенных процессов в подземном пространстве Санкт-Петербургского региона в пределах Предглинтовой низменности. Все диагностируемые процессы по степени опасности, с точки зрения обеспечения надежности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения, условно разделены на три группы: ПОЭ – проблематично опасные эндогенные процессы; ОЭкз – опасные экзогенные процессы и явления; С_нЭкз – экзогенные процессы со средним и низким уровнями опасности.

6. Проявление и динамика эндогенных процессов (радоноопасность, «глиняный диапиризм») определяется расположением исследуемого региона в пределах напряженной геодинамической области, что в свою очередь диктует негативные изменение состояния и параметров физических и механических свойств горных пород и необходимость особого подхода к оценке таких пород, рассматриваемых в качестве основания или среды сооружений.

7. Распространение и развитие экзогенных процессов в пределах рассматриваемой территории во многом зависит от геолого-морфологических и гидрометеорологических особенностей региона, трещиноватости коренных пород разреза, наличия мощной толщи слабых песчано-глинистых водонасыщенных отложений в пределах палеодолин, гидродинамического режима водоносных горизонтов, влияния различных источников контаминации подземного пространства, а также техногенной деятельности. Согласно проведенным исследованиям к наиболее распространенным в пределах Предглинтовой низменности Санкт-Петербургского региона экзогенным процессам со средним и низким уровнями опасности отнесены процессы боковой (речной) эрозии и

подтопление, а к наиболее опасным процессам - заболачивание, оползневые деформации и развитие плавунцов. Проявление речной эрозии отмечается на всех реках исследуемого региона и способствует развитию оползневых деформаций вдоль относительно крутых склонов рек. Подтопление приводит к дополнительному ухудшению состояния и свойств грунтов основания, изменению их напряженного состояния, что, в свою очередь, влияет на устойчивость сооружений. Заболачивание является одним из основных природных факторов, оказывающим влияние на все компоненты подземного пространства Предглинтовой низменности. Отмечается, что высокая заболоченность территории до её освоения и наличие действующих болот обуславливает негативное преобразование подстилающих грунтов, состава подземных вод, активизацию деятельности микробиоты по глубине разреза, биохимическую газогенерацию. Указывается, что плавунными свойствами в пределах описываемой территории обладают песчаные грунты различного генезиса, развитые в палеодолинах и в зонах контаминации, а также коренные песчаники верхнего венда – нижнего кембрия, разрушенные в зонах разломов до состояния песков. Как и следовало ожидать, в областях развития оползневых смещений нижнекембрийские глины характеризуются повышенной влажностью и низкими параметрами сопротивления сдвигу по сравнению с этими же параметрами синих глин в коренном залегании.

8. Экспериментальные исследования микробной пораженности синих глин нижнего кембрия в зонах оползневых деформаций позволили выявить тенденцию к проникновению микроорганизмов в толщу глин по макро- и микротрещинам. Содержание микробной массы (ММ) по величине суммарного белка составило 10,3 мкг/г в блоке и 72,0 мкг/г по поверхности трещин, что свидетельствует о переносе микроорганизмов и продуктов их метаболизма по системе трещин.

9. Проведенный инженерно-геологический анализ причин перехода строящихся и эксплуатируемых сооружений различного назначения в аварийное и предаварийное состояния показал, что потеря устойчивости и преждевременный

выход сооружений из эксплуатации были вызваны недоучетом при проектировании и строительстве следующих факторов: трещиноватость и зональность толщи синих глин, их относительно высокая проницаемость, возможность глубокой трансформации дезинтегрированной толщи синих глин под влиянием инфильтрации контаминированных вод, проявление экзогенных процессов. Указано, что под действием физико-химических и биохимических процессов синие глины способны переходить в слабые разности, несущая способность которых может соответствовать глинистым отложениям малой степени литификации.

10. Сложность инженерно-геологических условий Предглинтовой низменности во многом зависит от наличия погребенных долин в коренных породах, диктующих увеличение мощности четвертичных отложений и широкое развитие слабых песчано-глинистых отложений в разрезе рассматриваемой территории. Анализ причин перехода здания городской детской больницы №22 в г. Колпино в предаварийное состояние показал, что при проектировании сооружений в пределах исследуемого региона необходимо учитывать специфику гидродинамических условий, формирующихся за счет влияния подпорных гидротехнических сооружений Петровского времени.

11. Проанализировано существующее представление об уровне безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения. Отмечено, что обеспечение безопасности с инженерно-геологических позиций должно базироваться на учете изменения компонентов подземной среды в зоне основания сооружения в процессе его строительства и эксплуатации, а также под воздействием природных и природно-техногенных процессов, негативно влияющих на состояние и свойства пород, т.е. на предупреждении и прогнозировании, а не на ликвидации последствий опасных процессов и явлений. Повышение уровня безопасности строительства и эксплуатации сооружений может быть обеспечено комплексом мероприятий, направленных на регулирование природных и природно-техногенных опасных процессов и уязвимости компонентов подземной среды по отношению к различного вида

контаминантам, прежде всего, зонированием территории по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов.

12. Согласно проведенному в восьмидесятых годах инженерно-геологическому районированию центральных и южных частей Ленинграда (Санкт-Петербурга) территория Предглинтовой низменности в черте города была отнесена к территории с благоприятными (простыми) инженерно-геологическими условиями наземного строительства. Такое решение было продиктовано неглубоким залеганием морен осташковского горизонта и нижнекембрийских синих глин, рассматриваемых как надежный несущий слой. Недоучет структурно-тектонической обстановки территории, и связанные с ней дезинтегрированность синих глин, влияние повсеместного заболачивания территории на негативное преобразование песчано-глинистых грунтов, в том числе и осташковской морены послужили основой для пересмотра основных критериев инженерно-геологического зонирования территории Предглинтовой низменности и отнесения её к району с достаточно сложными инженерно-геологическими условиями.

13. Предложено для обеспечения длительной устойчивости сооружений различного назначения в качестве надежного основания рассматривать коренные отложения осадочного чехла, представленные в пределах Предглинтовой низменности исследуемого региона нижнекембрийскими синими глинами (90 % исследуемой территории), песчаниками ломоносовского горизонта и верхнекотлинскими глинами верхнего венда. При этом необходимо учитывать, что наличие и степень трещиноватости коренных пород определяет изменение их физических, механических и водных свойств, а также служит фактором развития различных природных и природно-техногенных процессов.

14. На основании анализа структурно-тектонических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий было произведено зонирование территории Предглинтовой низменности в пределах Санкт-Петербургского региона с целью повышения безопасности строительства и эксплуатации наземных сооружений с учетом глубины залегания дочетвертичных пород, а

также по степени опасности развития природных и природно-техногенных процессов.

15. Наличие схематических карт инженерно-геологического зонирования дает возможность реализовать дифференцированный подход для подготовки и проведения инженерных изысканий в зависимости от специфики постановки задач, назначения объема и состава полевых и лабораторных исследований на основе анализа реальной инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки, влияния объектов повышенной экологической опасности, а также развития различных природных и природно-техногенных процессов в пределах конкретной территории согласно выполненному зонированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова, О.Ю. Природные и природно-техногенные геологические процессы в подземном пространстве Санкт-Петербурга: закономерности развития, систематизация и возможности предотвращения: Автореферат дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08/Александрова Ольга Юрьевна. – СПб., 2007. – 21 с.
2. Андерсон, Е.Б. Перспективы создания подземных могильников РАО в нижнекембрийских глинах Ленинградской области/ Е.Б. Андерсон, В.Г. Савоненков, С.И. Шабалев // Труды Радиевого института им. В.Г. Хлопина. – 2006. – Т. XI. – С. 105-132.
3. Андреюк, Е.И. Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия/ Е. И. Андреюк, И. А. Козлова-Киев: Наукова думка, 1977. – 163 с.
4. Брунс, Е.П. Условия осадконакопления доордовикских толщ в западных районах русской платформы/ Е.П. Брунс//Материалы по геологии европейской территории СССР. - Л., 1966. – С. 6-31.
5. Высокоостровская, Е.Б. Исследование аэрогамма-спектрометрических данных в радиационной экологии/ Е.Б. Высокоостровская, В.С. Данилов, А.И. Краснов, А.А. Смыслов //Российский геофизический журнал, 1997. - №7-8. - С. 5-17.
6. Галаганов, О. Парадокс отличий в вертикальных движениях по данным определений разными методами / О. Галаганов, В. Горшков, Т. Гусева, Ю. Кузнецов, Н. Розенберг, В. Передерин, Н. Щербакова // Геодезия, картография и аерофотосъемка. – 2009 г. – Вып. 71. – С. 241-248.
7. Гарбар, Д.И. Геодинамика зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты / Д.И. Гарбар, С.А. Головизнин, О.В. Трофимов // Советская геология. – 1992. - №7. - С. 42-50.
8. Гарбар, Д.И. Тектоника зоны сочленения Балтийского щита и Руссой плиты / Д.И. Гарбар // Геотектоника. – 1981. – № 3. – С. 41-47.
9. Геологический Атлас Санкт-Петербурга, СПб, Комильфо, 2009, - 57 с.

10. Гидрогеология СССР, Том III, Ленинградская, Псковская и Новгородская области/ Ред. И.К. Зайцев.- М: Недра,1967. – 328 с.
11. Головченко, А.В. Особенности пространственного распределения и структуры микробных комплексов болотно-лесных экосистем: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / Головченко Алла Владимировна. – М., 1992. – 26 с.
12. Головченко, А.В. Численность, биомасса, структура и активность микробных комплексов низинных и верховых торфов / А.В. Головченко, Е.Ю. Тихонова, Д.Г. Звягинцев // Микробиология. – 2007. – Т. 76, № 5. – С. 711-719.
13. Горький, А.В. Проблемы природных радионуклидов в Санкт-Петербурге/ А.В. Горький // Геология крупных городов. – 2009. - С. 56-58.
14. Гудман, Р. Механика скальных пород / Р. Гудман. - М.: Стройиздат, 1987. - 232 с.
15. Дашко, Р.Э. Анализ геоэкологического состояния подземного пространства (ПП) исторического центра Санкт-Петербурга/ Р.Э. Дашко, Л.П. Норова // Материалы международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». – Екатеринбург: АКВА - Пресс, 2001. – С. 682-689.
16. Дашко, Р.Э. Генетические особенности формирования и изменения физико-механических свойств нижнекембрийских глин в разрезе Санкт-Петербургского региона / Р.Э. Дашко, А.А. Коробко // Сергеевские чтения. Выпуск 16., Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21 марта 2014 г.). - 2014. - Вып. 16. - С.23-29.
17. Дашко, Р.Э. Геотехническая диагностика коренных глин Санкт-Петербургского региона (на примере нижнекембрийской глинистой толщи). / Р.Э. Дашко // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2000. - № 1. - С. 95-100.
18. Дашко, Р.Э. Геотехнические аспекты исследований нижнекембрийских синих глин Санкт-Петербурга как основания сооружений./ Р.Э. Дашко, А.А. Коробко // Жилищное строительство.- 2014. - №9. – С.19-22.

19. Дашко, Р.Э. Геоэкологические аспекты развития и активизации природно-техногенных процессов и явлений в подземном пространстве Санкт-Петербурга/ Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова// Геологический научно-популярный журнал Минерал - 2002. - № 1 (4). - С. 59–65.

20. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическая оценка морен Санкт-Петербурга как прочных и устойчивых отложений – миф или реальность? /Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, А.В. Шидловская // Сергеевские чтения. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий.– 2009. – Вып. 12. – С.253-258.

21. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологические особенности коренных глин Санкт-Петербурга как среды для размещения подземных сооружений./ Р.Э. Дашко, А.А. Еремеева //Материалы Международного симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». - Т.II. - 2001. - С. 675-681.

22. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологический анализ причин разрушения транспортного тоннеля в нижнекембрийских глинах (Санкт-Петербургский регион) / Р.Э. Дашко, К.В. Панкратова, А.А. Коробко // Материалы седьмой научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве»/ ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве». - 2011. - С. 26-30.

23. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическое обоснование безопасности строительства и эксплуатации сооружений различного назначения в пределах Предглинтовой низменности (западная часть Ленинградской области) / Р.Э. Дашко, А.А. Коробко // Записки Горного института. – 2013. - №206. - С. 22-25.

24. Дашко, Р.Э. Инженерно-геологическое обоснование возможности захоронения промышленных отходов в коренных глинах Ленинградской области./Р.Э. Дашко, А.А. Еремеева //Материалы 2-ой республиканской научно-практической конференции «Проблемы захоронения промотходов в глубокие горизонты земных недр. - 2001.- С. 79-81.

25. Дашко, Р.Э. Исследование инженерно-геологических и микробиологических факторов для оценки динамики разрушения тоннеля на ПК 78+50 – ПК 124+58.71 автодороги Санкт-Петербург – Киев. / Р.Э. Дашко, К.В. Панкратова, А.А. Коробко // Записки Горного института. – 2012.- №195. - С. 24-27
26. Дашко, Р.Э. Исследование инженерно-геологических и микробиологических факторов для оценки динамики разрушения транспортного тоннеля в пределах Предглинтовой низменности/ Р.Э. Дашко, **А.А. Коробко**// Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Т. 1, Вып. 3. – С. 68-71.
27. Дашко, Р.Э. Исторический анализ эволюции экологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга: причины и последствия / Р.Э. Дашко, Л.П. Норова, Е.С. Руденко // В сб. Культура и природа древнего города. - 1998. – С. 231-247.
28. Дашко, Р.Э. Механика горных пород: Учебник для ВУЗов. / Р.Э. Дашко - М.: Недра, 1987. - 264 с.
29. Дашко, Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия/ Р.Э. Дашко //Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. - 2000. - С. 72-78.
30. Дашко, Р.Э. Нижнекембрийские синие глины как основание и среда сооружений: инженерно-геологический анализ опыта их строительства и эксплуатации. / Р.Э. Дашко, А.А. Коробко // Труды Международной конференции по геотехнике Технического комитета 207 ISSMGE. - 2014. – Т. 2. - С. 207-215.
31. Дашко, Р.Э. Основные геотехнические тенденции негативной трансформации нижнекембрийских синих глин Санкт-Петербургского региона. / Р.Э. Дашко, А.А. Коробко // Геотехника. – 2013. - №3. - С. 4-10.
32. Дашко, Р.Э. Основные геоэкологические проблемы подземного пространства Санкт-Петербурга//Материалы V Международно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии». – 2003. – С. 21-38.

33. 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. 25-71.
34. Дашко, Р.Э. Особенности инженерно-геологического анализа нижнекембрийских синих глин как основания сооружений /Р.Э. Дашко // «Механика грунтов, основания и фундаменты», Межвузовский сборник научных трудов. - 1984. - С. 86-93.
35. Дашко, Р.Э. Проблемы геоэкологической безопасности освоения и использования подземного пространства мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга) /Р.Э. Дашко // Реконструкция городов и геотехническое строительство – 1999. - №1. – С. 55-63.
36. Дашко, Р.Э. Ретроспективный анализ экологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга/ Р.Э. Дашко, Л.П. Норова, Е.С. Руденко //Сб. научных трудов «Наука в Санкт-Петербургском государственном горном институте (ТУ)». -1998. - Вып.3. – С. 89-100.
37. Дашко, Р.Э. Роль микробиоты при изучении состояния и свойств дисперсных грунтов и развитии инженерно-геологических процессов (на примере Санкт-Петербурга) / Р.Э. Дашко, Я.А. Карпова // Грунтоведение.– 2012. - №1. – С. 35-39.
38. Дашко, Р.Э. Теория и практика инженерно-геологического анализа и оценки водонасыщенных глинистых пород как основания сооружений: диссер. ... доктора г.-м. наук:04.00.07/ Дашко Регина Эдуардовна. – Ленинград, 1985. – 576 с.
39. Дашко, Р.Э. Техногенная эволюция подземного пространства Санкт-Петербурга: причины и последствия/ Р.Э. Дашко, Л.П. Норова //Записки Горного института. – 2001. - Вып. 147. – С. 71-85.
40. Дашко, Р.Э. Эволюция экологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга/ Р.Э. Дашко, Л.П. Норова, Е.С. Руденко //Разведка и охрана недр. – 1998 - №7-8. С. 57-59.

41. Еремеева, А. А. Инженерно-геологическая и геоэкологическая оценка условий захоронения промышленных отходов в нижнекембрийских глинах Ленинградской области: дисс. ...канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08/Еремеева Анастасия Александровна. - СПб., 2002. – 212 с.

42. Еремеева, А. А. Реконструкция палеогеографических и структурно-тектонических условий формирования нижнекембрийских синих глин предглинтового региона Санкт-Петербурга для обоснования геоэкологической безопасности захоронения в них токсичных отходов/ А. А. Еремеева // Тезисы XXXVI международной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс». – 1999. – С. 16-20.

43. Еремеева, А.А. Инженерно-геологическая и геоэкологическая оценка условий захоронения промышленных отходов в нижнекембрийских глинах Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08/Еремеева Анастасия Александровна. – СПб., 2002. - 21 с.

44. Еремеева, А.А. Комплексный геоэкологический мониторинг на полигонах захоронения токсичных промышленных отходов (на примере опытно-промышленного полигона «Красный Бор») / А. А. Еремеева //Труды 3-ей Санкт-Петербургской ассамблеи молодых ученых и специалистов. - 1998. – С. 5-10.

45. Жукова, А.М. Инженерно-геологические и гидрогеологические особенности оценки условий строительства и эксплуатации высотных зданий (на примере локальной зоны правобережья р. Невы) / А.М. Жукова //Записки Горного института. – 2010. - Т.186. - С. 3-17.

46. Жукова, А.М. Инженерно-геологическое обоснование строительства высотных зданий в г. Санкт-Петербурге: автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08/Жукова Анна Михайловна. - СПб., 2011. – 25 с.

47. Захарова, Е.Г. Анализ и оценка негативных последствий захоронения болот в пределах мегаполисов (на примере Санкт-Петербурга) / Е.Г. Захарова // Материалы Международной конференции «Город и геологические опасности». - 2006. – Ч. II. - с. 174-181.

48. Захарова, Е.Г. Влияние погребенных болот на формирование инженерно-геологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга: диссер. ... канд. г.-м. наук: 25.00.08 / Захарова Екатерина Геннадьевна. – СПб, 2010. – 214 с.
49. Иванов, И.П. Инженерная геодинамика/ И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский// СПб.: Наука, 2001. — 416 с.
50. Кабаков, Л.Г. Оценка геодинамического состояния территории Ленинградской области/ Л.Г. Кабаков, Н.Ф. Скопенко// Разведка и охрана недр. – 1998. – № 7-8. – С. 31-35.
51. Каминский, А.А. Механика разрушения вязко-упругих тел / А.А. Каминский. - Киев: Наукова думка, 1980. - 159 с.
52. Карпова, Я. А. Инженерно-геологическое обеспечение наземного и подземного строительства в условиях активного техногенеза компонентов подземного пространства Приморского района Санкт-Петербурга: диссер. ... канд. г.-м. наук: 25.00.08 / Карпова Яна Александровна. – СПб, 2014. – 271 с.
53. Киселев И.И. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области/ И.И. Киселев, В.В. Проскуряков, В.В. Саванин. – СПб., 1997. – 197 с.
54. Кофман, В.С. Основные особенности геологического развития и тектонической структуры осадочного чехла Северо-Запада Русской плиты. Геология Северо-запада Российской Федерации. // В.С. Кофман /Сборник научных трудов. - 1993. - с. 49-59.
55. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. / В.Д. Ломтадзе. - Л., «Недра», 1977. - 479 с.
56. Ломтадзе, В.Д. Методика составления инженерно-геологических карт и задачи инженерно-геологического районирования/ В.Д. Ломтадзе // Записки Горного Института. – 1971 г., Т. 62, Вып. 2. – С.89-99.
57. Ломтадзе, В.Д. Физико-механические свойства нижнекембрийских глин Северо-Западной окраины Русской платформы / В.Д. Ломтадзе // Записки Горного Института. – 1958 г., Т. 34, Вып. 2. – С.154-188.

58. Мельников Е.К., Пивоварова Г.М. Геодинамически активные разломы и их воздействие на здоровье и жизнедеятельность человека/ Е.К. Мельников, Г.М. Пивоварова. СПб – М.: Изд-во «Ладога – 100», 2014 г. – 178 с.

59. Методические указания. Количественный учет влияния жизнедеятельности микроорганизмов на физико-механические свойства оглеенных пород.- Л., ЛГУ, 1988.- 37 с.

60. Михайлова, Е.Д. Геология и полезные ископаемые Северо-Запада России: учебное пособие/ Е.Д. Михайлова.- СПб.:СПГГИ, 2010. – 71 с.

61. Никольский Ю.И. Разрушительное землетрясение в Санкт-Петербурге миф или реальность/ Ю.И. Никольский. – Проблемы геодинамической безопасности. II рабочее Международное совещание – СПб, 1997 – С. 16-20.

62. Норова, Л.П. Инженерно-геологические и геоэкологические последствия контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга: диссер. ... канд. г.-м. наук: 25.00.08 / Норова Лариса Павловна. – СПб, 2001. –333 с.

63. Опасные природные процессы: учебное пособие / Н.В. Крепша; Томский политехнический университет.–Томск: Изд-во Томского политехнического университета,2014.–290с.

64. Отчет «О комплексном геологическом, гидрогеологическом и инженерно-геологическом доизучении масштабов 1:50 000 с общим поисками и геоэкологическим картированием территории г. Санкт-Петербурга и его окрестностей в 7 книгах и 12 папках. – 2001. –212 с.

65. Отчет «Об инженерно-геологическом и гидрогеологическом картировании территории г. Ленинграда в масштабах 1:25 000 и 1: 50 000 для обоснования генерального плана развития города с учетом использования подземного пространства, 1984-1989 гг.». Часть II. Центральная и южная части г. Ленинграда в 6-х книгах. Книга 1., 1989.– 360 с.

66. Отчет инженерных изысканий, проведенных ЗАО «ЛенПромТрансПроект» на территории расположения 5 съезда КАД к югу от г. Ломоносов, 2011. – 156 с.

67. Отчет о выполнении работ по объекту: «Гидрогеологическое доизучение листов О-35-VI, О-36-I масштаба 1:200 000 (Лужско-Петербургская площадь)». – 2010 г. – 145 с.

68. Отчет о научно-исследовательской работе «Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обеспечение высотного строительства и освоения подземного пространства в мегаполисах» - СПб, 2010 г. – 289 с.

69. Отчет о научно-исследовательской работе «Научные основы обеспечения безопасности жизнедеятельности мегаполисов» - СПб.: Горный университет, 2002. – 216 с.

70. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка научно-практических основ комплексного геоэкологического мониторинга подземного пространства Санкт-Петербурга с целью повышения безопасности его освоения и использования для различных целей в сложных природно-техногенных условиях» - СПб.: Горный университет, 2004. – 139 с.

71. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка научно-практических основ концепции и структуры геоэкологического мониторинга подземного пространства Санкт-Петербурга» - СПб.: Горный университет, 2003. – 142 с.

72. Отчет по результатам микологического исследования образцов из подвального помещения детской городской больницы города Колпино. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 21 с.

73. Отчет по результатам микробиологического исследования образцов грунта из района детской городской больницы №22 по адресу: г. Колпино, Заводской проспект, д.1. – СПб.: СПбГУ, 2015. – 18 с.

74. Официальный сайт «Дыши свободно. Экология городов и регионов» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.dishisvobodno.ru/rad_eco_spb_reg.html

75. Официальный сайт «Экологические карты Санкт-Петербурга и Ленинградской области» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.online.spb.ru/ecology/ecologymaps.php>

76. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2011 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб., 2012. – 458 с.

77. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб., 2010. – 512 с.

78. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 1998 году. / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб., 1999. - 398 с.

79. Оценка влияния атомно-промышленного комплекса на подземные воды и смежные природные объекты (г. Сосновый Бор Ленинградской области) / Под ред. В. Г. Румынина. – СПб. : СПбГУ, 2003. – 248 с.

80. Панкратова, К. В. Инженерно-геологическая оценка техногенеза компонентов подземного пространства при его освоении и использовании на примере Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук: 25.00.08 / Панкратова Ксения Викторовна. – СПб, 2012. – 24 с.

81. Панкратова, К.В. Инженерно-геологический анализ факторов для оценки динамики разрушения транспортного тоннеля автодороги Санкт-Петербург – Киев / К.В. Панкратова, А.А. Коробко // Материалы I Всероссийской заочной (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные проблемы освоения недр»: Современные проблемы инженерной геологии в горном деле и строительстве. - 2011. - С. 28-32.

82. Пекельный, В.И. Эколого-геохимическое изучение диоксиновых загрязнений промзоны Колпино-Красный Бор / В.И. Пекельный, Г.М. Арутюнов, Н.Д. Малов // Вопросы геоэкологии Северо-Запада России, Северо-западный региональный геологический центр. - 1998. – С. 28-36.

83. 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.

84. Плющ, Л.В. Снижение техногенной нагрузки в районах складирования и захоронения отходов добычи и переработки минерального сырья /Л.В. Плющ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2006 - №10. - С. 186-192.

85. Пособие по вопросам изучения загрязненных земель и их санации/ Н.Д. Сорокин, Е.Б. Королева, Е.В. Лосева, Н.В. Осинцева. – СПб., 2012. – 119 с.

86. Путикова, М. О. Исследование механизма оползневого процесса в слоистой среде с учетом деформируемости слагающих пород: диссер. ... канд. г.-м. наук: 04.00.07 / Путикова Мария Олеговна. – СПб, 1997. – 172 с.

87. Рубенчик, Л.И. Микроорганизмы как фактор коррозии металлов и бетонов. - Киев: Изд-во АН УССР, 1950. – 64с.

88. Руденко, Е.С. К вопросу о биохимическом газообразовании в подземном пространстве Санкт-Петербурга / Е.С. Руденко // Реконструкция городов и геотехническое строительство. - 2000. - №1- С. 88-95.

89. Рудник, В.А. Геологический фактор: состояние и здоровье человека/ Рудник В.А., Мельников Е.К., Мусийчук Ю.И. //Минерал. – 1998. - №1. – С. 41 – 55.

90. Соколович, В.Е. Химическое закрепление грунтов/ В.Е. Соколович. - М.:Стройиздат, 1980. – 119 с.

91. Страхов, Н.М. Основы теории литогенеза. М., 1962. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза (Гранулометрическая сортировка песчано-алевритовых и глинистых осадков разных фациальных типов). - М.: АН СССР, 1962. - Т. 2.- С. 5-54.

92. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии/сост. Е.М. Пашкин, А.А. Каган, Н.Ф. Кривоногова; под ред. Е.М. Пашкина. – М.: КДУ, 2011.- 952 с.

93. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям для разработки проекта по объекту «ПИР западного участка КАД и автодороги на направлении Москва - Санкт-Петербург» строительство второй очереди кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга. Участок от

автомобильной дороги «Нарва» до поселка Бронка, Фонды ЗАО «Нева-Дорсервис», 2005. – 115 с.

94. Технический отчет: Инженерно-геологические изыскания, выполненные для проектирования реконструкции транспортного тоннеля в рамках объекта «Реконструкция автодороги М-20 Санкт-Петербург - Киев» (Пулковское шоссе) на участке от дороги на г. Пушкин до п. Дони в административных границах Санкт-Петербурга, авторы: Смирнов Л.К., Кузьмин А.А., Плечкова И.Л., ЗАО «ЛенТИСИЗ». – 2010. – 95 с.

95. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений Федеральный Закон № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 (с изменениями на 2013 год).

96. ТСН 31-332-2006 Санкт-Петербург. Жилые и общественные высотные здания. Введ. 28.04.2006.

97. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. Введ. 05.08.2004.

98. Улицкий, В.М., Лисюк М.Б. Оценка риска и обеспечение безопасности в строительстве / В.М. Улицкий, М.Б. Лисюк // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2002. - №5. – С. 160-166.

99. Физико-химические аспекты захоронения остеклованных радиоактивных отходов в геологические формации: Обзор / В.М. Седов, В.Т. Сорокин, А.И. Кузнецова и др.- М.: ЦНИИатоминформ, 1988.–46с.

100. Харламов, М.Г. Критерии оценки потенциальной радоноопасности территории на основе геолого-геофизических исследований/ М.Г. Харламов, В.А. Максимовский, А.В. Мальцев и др. //Отечественная геология. – 1998 - № 5. – С. 37-59.

101. Хахинов, В.В. Гидрогеохимическая и микробиологическая характеристики болотных экосистем перешейка полуострова Святой Нос (оз. Байкал) / В.В. Хахинов, Б.Б. Намсаров, Г.С-С. Доржиева, С.П. Бурюхаев // География и природные ресурсы. – 2012. –№4. – С.16-22.

102. Чочиа Н. Г. Палеогеография позднего кайнозоя Восточной Европы и Западной Сибири (ледниковая и ледово-морская концепции): монография / Н. Г.

Чочиа, С.П. Евдокимов; под общ. ред. Н.Г. Чочиа. — Саранск: Мордов. университет, 1993. — 248 с.

103. Шевченко, С.Р. Инженерно-геологическое районирование территории Ленинграда и его окрестностей: Материалы 4-го регионального совещания по инженерной геологии. Вопросы инженерно-геологического картирования и районирования, 1968. - 140 с.

104. Экспертное заключение. Анализ и оценка условий эксплуатации транспортного тоннеля на участке от поворота на г. Пушкин до пересечения с Волхонским шоссе. СПГГИ (ТУ), 2010 г. – 56 с.

105. Яковлев, Д.В. К проблеме геодинамического районирования территории Большого Санкт-Петербурга/ Д.В. Яковлев, В.А. Рудник, В.В. Проскуряков, И.М. Петухов, Н.Ф. Скопенко //II международное рабочее совещание 24-27 июня 1997. - 1997.- С.282-289.

106. Якушев, М. Ф. Выбор типа и варианта размещения регионального хранилища для окончательного захоронения радиоактивных отходов на Северо-Западе России / М. Ф. Якушев, Е. М. Мартынов // Экология и атомная энергетика. – 1999. - Вып. 2. – С. 68-75.

107. Яновский, А.С. Отчет о гидрогеологической съемке на площади листов О-35-V, X1, геологическом доизучении масштаба 1:200 000, глубинном геологическом картировании масштаба 1: 1 000 000 и геоэкологических исследованиях масштаба 1:50000, частично масштаба 1:200 000, на площади листов О-35-V, V1,X1 (западная часть Ленинградской области) в 1987-1994 гг. ФГУ «СЗРФГИ». - 1995. – 225 с.

108. Dashko, R.E. Engineering-geological and geotechnical assessment of clay soils as fractured block medium / R.E. Dashko, A.A. Korobko // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg. - 2014. V. 1. - P. 113-116.

109. Dashko, R.E. The peculiarities of geotechnical assessment of Lower Cambrian clays in the North-Western part of the Russian platform / Dashko R. E., Plechkova I. L. // Baltic Geotechnics '95. Proceedings of the 8th Baltic Geotechnical conference. Rotterdam, Brookfield, 1995. Pp. 51-53.