

Санкт-Петербургский государственный университет

*АЛАГУЗОВА Наталья Андреевна*

**Выпускная квалификационная работа**

*Оценка влияния инженерно-геологических процессов на  
аварийность подземных сооружений на основе анализа  
пространственного и временного распределения аварий сетей  
водоснабжения в Санкт-Петербурге*

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5798.2020

«Гидрогеология и инженерная геология»

Научный руководитель:  
заведующий кафедры гидрогеологии  
и инженерной геологии,  
Институт Наук о Земле СПбГУ,  
к. г.-м. н. Бурлуцкий С. Б.

Рецензент: главный геофизик  
ООО «Спецгеосервис»  
Татарский А. Ю.

Санкт-Петербург  
2022

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1. Геолого-географические условия	
1.1. Физико-географическое описание территории.....	5
1.2. Геологическое описание территории	
1.2.1. Дочетвертичные отложения.....	11
1.2.2. Четвертичные отложения.....	13
Глава 2. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга	
2.1. Гидрогеологические условия.....	14
2.2. Инженерно-геологические условия .....	17
Глава 3. Конструктивные особенности и принципы расположения сетей водоснабжения и водоотведения	
3.1. Общие положения.....	19
3.2. Устройство сетей в Санкт-Петербурге .....	22
Глава 4. Анализ методики оценки распределения аварий.....	23
Глава 5. Оценка распределения аварий	
5.1. Распределение аварий по причинам .....	26
5.2. Временное распределение аварий.....	30
5.3. Приуроченность аварий к типам четвертичных отложений	
5.3.1. Пространственное распределение без учёта нормировки .....	37
5.3.2. Пространственное распределение с учётом нормировки .....	42
5.4. Приуроченность аварий к типам четвертичных отложений в зависимости от временного распределения .....	46
5.5. Схематические карты степеней опасности .....	51
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	58
Приложение А.....	61
Приложение Б .....	63
Приложение В .....	64

## Введение

### **Объект исследования**

Сети водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга; дорожное покрытие Санкт-Петербурга.

### **Предмет исследования**

Природная аварийность трубопроводов в связи с их приуроченностью к разным типам четвертичных отложений и пространственно-временная корреляция.

**Цель выпускной квалификационной работы:** установление пространственной, временной и геологической корреляций коррозионной и механической аварийности трубопроводов в системе грунт-сооружение.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Составление базы данных в формате ГИС по временному, пространственному и геологическому распределению аварий различных типов на сетях водоснабжения Санкт-Петербурга на основе данных ООО «Спецгеосервис».

2. Изучение конструктивных особенностей и принципов расположения сетей водоснабжения Санкт-Петербурга.

3. Изучение особенностей инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга.

4. Анализ временного распределения аварий различных типов на сетях водоснабжения.

5. Импорт данных по авариям в ГИС и сопоставление пространственного распределения аварий различных типов на сетях водоснабжения с геологическими картами Санкт-Петербурга.

6. Выявление, анализ и описание выявленных временных и пространственных корреляционных связей.

7. Разработка методики нормировки данных аварийности к плотности строения коммуникаций.

8. Построение схематических карт районирования Санкт-Петербурга по степени риска для подземных коммуникаций на примере сетей водоснабжения.

**Актуальность работы.** Установление пространственной, временной и геологической корреляций аварийности важно, поскольку определенные аспекты темы изучены не в полной мере, а выявление сезонных ритмов природных аварий экономически целесообразно.

**Практическое значение.** Исследование позволит оптимизировать выбор трасс строящихся подземных коммуникаций, произойдет повышение эффективности в эксплуатации сетей Санкт-Петербурга и снижение затрат на восстановление после аварий благодаря их своевременному прогнозированию и оптимизации организации аварийной службы.

**Используемые данные и методика исследования.** Используемыми данными для проведенного в данной работе анализа служит информация по расположению аварий в подземных системах водопроводов и канализаций, а также их временные характеристики. На протяжении изысканий разработана методика нормирования, при оценке позволяющая сократить воздействие техногенных сил. Предоставлен количественный анализ, благодаря эмпирическим исследованиям зависимостей пространственного распределения типов аварий от инженерно-геологических условий и временного распределения аварийности на примере сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга.

**Используемое программное обеспечение и база данных.**

Создание базы данных по аварийности было осуществлено с помощью геоинформационных систем MapInfo Pro 15.0. и ArcMap 10.8.

Статистическая обработка и анализ данных были проведены с использованием программы Microsoft Excel и алгоритмов, реализованных в среде Python.

Сбор и анализ материалов по коррозионной и механической аварийности на основе данных, предоставленных ООО «Спецгеосервис», осуществится во время летней практики; была создана база данных в формате ГИС, включающая более 5000 аварий. Для получения репрезентативных данных было принято решение о введении весового коэффициента для аварий с учетом плотности инженерных сооружений (застроенности анализируемых площадей).

## Глава 1. Геолого-географические условия

### 1.1. Физико-географическое описание территории

#### *Географическое положение*

Санкт-Петербург – город федерального значения Российской Федерации. Площадь города составляет около 1400 км<sup>2</sup>, из которой застроено меньше половины [24].

Территория города располагается на Русской равнине, в устье реки Невы. Имеет выход к Балтийскому морю, охватывая побережье Финского залива (рисунок 1) [16].



Рисунок 1. Физическая карта Санкт-Петербурга. Масштаб 1:750 000 [MapInfo]

#### *Физико-географические области*

Исследуемая территория расположена в пределах пяти ландшафтных (физико-географических) районов (рисунок 2).

Центральная часть города относится к первому району (1) – Приневскому, протягивающемуся между Финским заливом (включая остров Котлин) и Ладожским озером. Приневский ландшафтный район характеризуется самой плотной застройкой и

лежит на расширении Литориновой террасы, являющейся наиболее низкой частью (абсолютные высоты не превышают 10 м, низкие уровни периодически подвергаются наводнениям, поэтому строительство на этих участках ведется на насыпном грунте). Неосвоенные участки Литориновой террасы заняты болотами разных типов, а также лесами.



Рисунок 2. Физико-географическое районирование Санкт-Петербурга [24]

Номерами обозначены физико-географические (ландшафтные) районы Северо-Западной ландшафтной области южно-таежной подпровинции Восточно-Европейской равнины: 1 – Приневский; 2 – Приморский северобережный; 3 – Токсовско-Лемболовский камовый; 4 – Предглин'tсовый; 5 – Ижорский; 6 – Юго-Западное Приладожье; 7 – Колтушские высоты; 8 – Лужско-Оредежский; 1-5 – районы Санкт-Петербурга

Жирная линия соответствует административной границе Санкт-Петербурга, тонкие линии – границам физико-географических районов

Следующий высотный уровень составляют озерные и озерно-ледниковые террасы с высотами до 30 м, образующие Приморский северобережный (2) и Предглин'tсовый (4) ландшафтные районы. На более низких высотных уровнях преобладают глины и суглинки, на более высоких – пески. В южных районах города встречаются «цокольные»

террасы, сложенные моренными отложениями. Неосвоенные участки озерных и озерно-ледниковых террас покрыты лесами. Сохранившиеся болотные массивы в значительной степени осушены и выработаны; часть из них застроена.

Северные административные районы Петербурга включают также и Токсовско-Лемболовский ландшафтный район камовых холмов (3). Камовые холмы сложены крупнозернистыми песками; достигают абсолютных отметок до 100 м, преимущественно покрыты сосновыми лесами.

Юго-запад города расположен в пределах Ижорского ландшафтного района (5). Это платообразная структурная возвышенность, высоты которой составляют около 70 м, сложена известняками ордовика и перекрыта маломощной карбонатной мореной. У северо-восточной окраины плато возвышаются крутосклонные холмы, называемые Дудергофскими высотами; на них расположена наивысшая точка Санкт-Петербурга – 176 м над УМ [24].

#### *Климат*

Климат Санкт-Петербурга в целом переходный от континентального к морскому, что обусловлено взаимодействием морских и континентальных воздушных масс умеренных и арктических широт – частыми вхождением арктического воздуха и активной циклонической деятельностью. Характерны относительно мягкая зима и умеренно тёплое влажное лето, высокая относительная влажность воздуха, ветреная погода и большая облачность в течение года. В зимний период температура воздуха часто переходит через нулевую границу. Интенсивная циклоническая деятельность и частая смена воздушных масс обуславливает крайне неустойчивую погоду во все сезоны [16, 11].

Годовая норма осадков составляет от 700 до 750 мм, увеличиваясь при удалении от залива. Внутригодовое распределение осадков неравномерное: за тёплый период выпадает 60-65 % общего количества осадков. Относительная влажность воздуха большую часть года превышает 80 %, часто составляя в ноябре-январе – 90%, в связи с чем испарение с поверхности не превышает 300 мм [16].

#### *Рельеф*

Современный рельеф города обусловлен геологическими процессами, главными из которых связаны с эпохами оледенения и потепления (тремя их сменами). Для современного Петербурга главным рельефообразующим фактором на протяжении длительного геологического времени является эрозионно-аккумулятивная деятельность вод. Развитие рельефа тесно связано с эволюцией существовавших здесь морских и озёрных бассейнов. Последовательное понижение уровней водоёмов нашло отражение в террасированности рельефа Приневской и Приморской низин. Террасы разделены на

большом протяжении хорошо выраженным уступом, который часто сnivelирован эрозионными и техногенными процессами.

Северная и восточная границы города проходят по окраине моренной возвышенности. Здесь рельеф образован формами ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции: чередованием холмов, камов, озв и зандровых равнин с понижениями, занятыми озёрами и болотами, а также неглубокими речными долинами [16].



Рисунок 3. Орографическая схема города и окрестностей [16]

Центральная часть города в большинстве своём представлена техногенным рельефом из намывных и насыпных грунтов, мощность которых достигает десятка метров. В настоящее время проводятся масштабные работы по формированию береговой

линии города: засыпаются и намываются значительные площади в акватории Финского залива.

Южная граница территории проходит вдоль Балтийско-Ладожского уступа (глинта), к которому примыкает Ижорская возвышенность (рисунок 3). Балтийско-Ладожский уступ хорошо выражен в рельефе, часто расчленён узкими долинами рек. Встречаются карстовые формы рельефа в виде воронок [16].

#### *Гидрология*

Поверхностные воды представлены множественными озёрами и прудами; густой, часто канализированной, речной сетью; а также морскими водами Финского залива.

В пределах города Финский залив неглубокий (2,5-6 м). Восточная часть Финского залива (Невская губа – от дельты Невы до острова Котлин) с остальной частью Финского залива сообщается через ворота комплекса защитных сооружений. Солёность воды в Невской губе мала (до 2%), что объясняется большим притоком воды из рек, особенно из Невы. В Финском заливе часты штормы, особенно осенью в период сильных циклонов.

Среди многочисленных озёр на территории города самые крупные – Суздальские озёра, расположенные непосредственно в городе, а также озеро Щучье имеют естественное происхождение. Другие (например, Лахтинский и Сестрорецкий разливы) образовались при зарегулировании рек (Каменки и Сестры соответственно). Искусственные водоёмы представляют собой многочисленные пруды и карьеры на нижней террасе, питающиеся водами родников.

Речная сеть густая и разветвлённая. Представлена небольшими реками и ручьями, часть которых была спрямлена и канализована. Главная река города Нева представляет собой озерную протоку общей длиной 74 км (32 км в черте города). Через Неву в Финский залив поступает вода из бассейна Ладожского озера. Количество осадков сильно превышает испарение, поэтому Неву можно назвать достаточно многоводной: годовой расход воды – 77 км<sup>3</sup>/сек. Преобладающая её глубина – 8-11 м, наибольшая – 26 м. На территории города Нева образует псевдodelьту с многочисленными протоками и островами. Вследствие равномерного стока воды из Ладожского озера в течение года, Нева почти не имеет ни весеннего подъёма воды, ни паводков, связанных с выпадением осадков. Однако осенью в устье Невы обычно бывают большие подъёмы воды, связанные с сильными западными циклоническими ветрами. Вода в реке поднимается практически ежегодно, иногда бывают сильные наводнения.

Нева в пределах города принимает ряд рек и ручьёв. Наиболее крупные из них: северные притоки – реки Охта и Чёрная, южный – река Ижора, но в питании Невы они существенной роли они не играют. Речная сеть остальной части города представлена

небольшими реками и ручьями, непосредственно впадающими в Финский залив. Истоком самых значительных из рек северной части (Сестры, Каменки и Рощинки) являются крупные болота Ленинградской области. Реки южной части (такие как Стрелка, Караста, Дудергофка, Пулковка и др.) берут начало из многочисленных родников вдоль Балтийско-Ладожского уступа и питаются подземными водами [16].

## 1.2. Геологическое описание территории

Геология территории Санкт-Петербурга определяется её положением в зоне границы Балтийского щита с Русской плитой (сочленение кристаллического фундамента и осадочных пород), что также влияет на существование множества региональных тектонических разломов разной направленности в исследуемой области. Четвертичные отложения перекрывают большую часть города; только на юго-западе присутствуют локальные выходы дочетвертичных пород [16].

### 1.2.1. Дочетвертичные отложения

Дочетвертичные образования представлены архейско- раннепротерозойскими метаморфическими и интрузивными породами, слагающими нижний структурный этаж и отложениями вендско-фанерозойского осадочного чехла верхнего этажа.

Породы, слагающие фундамент (нижнего структурного этажа), в юго-восточных районах города представлены мигматизированными архейскими гнейсами и гранитами, тогда как в северо-западном направлении развиты гранат-биотитовые гнейсы раннепротерозойского лахденпохского метаморфического комплекса.

Породы осадочного чехла (верхнего структурного этажа) залегают моноклиinally, так как нижний структурный этаж полого опускается в юго-восточном направлении. На кристаллическом фундаменте залегают отложения валдайской серии вендского возраста, разделенной на нижний редкинский горизонт (*старорусская свита*, сложенная гравелитами, песчаниками, аргиллитами, аргиллитоподобными глинами и алевролитами; мощностью до 10-15 м) и верхний котлинский (*котлинская свита*, представленная песчано-глинистыми образованиями мощностью до 180 м и слагающая до 80% коренного субстрата под четвертичными отложениями).

В южной части города на горизонтах вендской системы залегают образования кембрия, выходящие на дочетвертичную эрозионную поверхность, включающие *ломаносовскую свиту* (образованную переслаивающимися светло-серыми кварцевыми мелко- и тонкозернистыми песчаниками, алевролитами и голубовато-зеленовато-серыми алевролитовыми глинами общей мощностью до 12 м; выходит в виде полосы шириной 1-2 км), *сиверскую свиту* (сложенная однородной толщей зеленовато-серых неравномерно-слоистых глин мощностью 115-120 м; выходит на дочетвертичную поверхность широкой полосой 12-18 км), *саблинскую* (мощностью 10-15 м) и *ладожскую свиты* (развитую локально; обе представлены песками и кварцевыми песчаниками).

Вне границ рассматриваемых полигонов аварийности, на юге города залегают породы ордовикской системы (включает песчаную *тосненскую* и *капорскую* аргиллит-

алевролитовую свиты суммарной мощностью до 12 м; *леэссескую и волховскую свиты*, представленные глауконитовыми песчаниками, глауконитовыми известняками и доломитами мощностью до 8 м; *обуховскую и медниковскую свиты*, сложенные такими карбонатными породами, как известняки и доломиты мощностью до 20 м) и девонской системы (*наровская свита*, сложенная мергелями, доломитами и карбонатными глинами) [16].

## 1.2.2 Четвертичные отложения

Четвертичные отложения Санкт-Петербурга представлены озёрно-ледниковыми, ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями плейстоцена, современными техногенными, биогенными, озерными, аллювиальными и морскими эоловыми отложениями голоцена.

Ледниковые отложения (моренные образования вологодской, московской и осташковской стадий), состоящие из валунных супесей и суглинков с разнозернистыми песчано-глинистыми переслоями, наиболее распространены. Самым выдержанным по площади и первым от поверхности надёжным основанием под строительство считается осташковский горизонт, литологический состав которого меняется с севера на юг от супесей к суглинкам. Ледниковые отложения разных стадий могут контактировать, однако в ряде случаев разделяются отложениями межледниковий (морскими, речными, флювиогляциальными и озёрными). Озёрно-ледниковые и флювиогляциальные отложения выходят на поверхность в северной части Санкт-Петербурга; представляют собой мелкозернистые пески, супеси и суглинки, формируя озово-камовый рельеф.

Морские отложения голоцена расположены узкой береговой полосой вдоль Финского залива, по течениям рек Нева и Охта, в Лахтинской котловине. Литологический состав: пески, супеси и суглинки с торфяными прослоями. Аллювиальные отложения представлены локально русловым аллювием; состав меняется в широких пределах. Отложения биогенного генезиса представлены торфом; в чистом виде они имеют локальное распространение в слабо застроенных районах, потому что в остальных локациях были заменены техногенными насыпями. Эоловые отложения, сложенные мелкими песками, расположены на северном побережье Финского залива (формируется дюнный рельеф). Большие площади города (с преобладанием в северной части) занимают озёрные отложения, сложенные песками, глинами и илами [16].

Мощность четвертичных пород обуславливается палеорельефом поверхности дочетвертичных. Максимальные значения в 100-130 м характерны для палеодолин (например, в районе площади Мужества). Средняя мощность четвертичных отложений в пределах Санкт-Петербурга составляет 20-30 м. Так как глубина заложения водопроводов невелика (первые метры), проводился анализ на выявление зависимостей аварийности от типов четвертичных пород [16, 23].

По типу гранулометрического состава четвертичные отложения представлены песками мелкими и пылеватыми, песками средними, крупными и гравелистыми, супесями, суглинками, глинами и торфами.

## **Глава 2. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга**

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия города можно назвать сложными и неоднородными. Это необходимо учитывать при строительстве как наземных, так и подземных сооружений, в том числе водопроводов и канализационных сетей.

В большинстве случаев вмещающими средами сооружений, расположенных на малых глубинах заложения, служат молодые четвертичные водонасыщенные песчано-глинистые отложения различного происхождения [23].

### **2.1. Гидрогеологические условия**

При оценке инженерно-геологических условий необходимо учитывать характеристики грунтовых вод, расположенных в верхней части разреза, в том числе в техногенных образованиях. В Санкт-Петербурге выделяется два подтипа гидродинамического режима вод. В удаленных частях города с нерегулярной застройкой и большими площадями парковых зон наличествует естественный и слабонарушенный гидродинамический режим, зависящий от сезонных колебаний. В центре города режим подземных вод нарушен техногенным вмешательством (высокая плотность застройки, дорожные покрытия), из-за чего режим почти не зависит от климата – годовая амплитуда колебаний уровней незначительна. Застойный режим ввиду отсутствия зон активного дренирования ведет к подтоплению территорий [16].

Изучаемая территория приурочена к северо-западному крылу Ленинградского артезианского бассейна, грунтовые воды которого расположены в породах и четвертичного, и дочетвертичного возраста. Источником питания грунтовых вод, залегающих до 50 м, служат атмосферные осадки, поэтому подземные воды изначально характеризовались слабой минерализацией. Глубоко залегающие воды солоноватые, с минерализацией 1-5,5 г/дм<sup>3</sup>. Области питания служат Ижорская и Лемболовская возвышенности, а региональным базисом дренирования – Финский залив.

Грунтовые воды Санкт-Петербурга используют в хозяйственно-питьевых и технических целях [16].

Для осуществления целей ВКР, нас, прежде всего, интересуют четвертичные отложения и, следовательно, водоносные горизонты, приуроченные к ним.

Р. Э. Дашко (2011) отмечает, что в четвертичных отложениях наблюдается до трех водоносных горизонтов: нижний межморенный; верхний межморенный; горизонт

грунтовых вод поздне- и послеледниковых отложений (в то время как в Геологическом Атласе Санкт-Петербурга 2009 года выделено 14 горизонтов, что более детально характеризует воды в зависимости от типов четвертичных отложений с точным указанием их химических характеристик) [16, 23].

Первый от поверхности безнапорный *горизонт поздне- и послеледниковых отложений* (мощностью до 3-5 м) распространен на большей части территории города и приурочен к породам морского, болотного, ледникового и водно-ледникового генезиса. Водовмещающими породами являются торфяники, мелкозернистые пески, супеси. На площади города водоносный горизонт загрязнен (повышенное содержание хлоридов, сульфатов, аммония, органических компонентов и углекислоты, что необходимо учитывать при оценке их агрессивности по отношению к конструкционным материалам канализационных систем неглубокого заложения).

В толще водоупорной осташковской морены встречаются линзы песков с напорными водами, что опасно из-за прорыва пливунув в горные выработки. В добавок к этому, на некоторых площадях водоупоры отсутствуют, что приводит к образованию «гидравлических окон», где межморенный горизонт непосредственно контактирует с вышележащим горизонтом грунтовых вод (данное условие следует учитывать при проектировании канализационных сетей неглубокого заложения, т. к. при эксплуатации сетей возможно загрязнения вод из-за утечек канализационных стоков).

*Верхний межморенный* водоносный комплекс (мощность которого колеблется от 0,3 до 40 м) расположен на севере и северо-востоке Санкт-Петербурга. Он приурочен к озерно-ледниковым и флювиогляциальным мелкозернистым и пылеватым пескам. На большей части территории воды напорные; водообильность неравномерная. Удельные дебиты скважин составляют 0,1-4,5 л/с. С точки зрения химического состава, распространены пресные гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,1-0,6 г/дм<sup>3</sup>, также часто характеризуются высоким содержанием двухвалентного железа (например, в районе Полюстрова).

*Нижний межморенный* высоконапорный горизонт (мощностью от 1-2 до 30-70 м) встречается в северной и юго-восточной частях Санкт-Петербурга между водоупорами морен днепровского и московского оледенений, кроме того, в озерно-ледниковых и флювиогляциальных породах вологодского возраста. Отложения представляют собой разнозернистые пески, а также пески с включением гравия и гальки с пливунными свойствами. Глубина залегания горизонта достигает в среднем 40-60 м. Подземные воды по большей части гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные и сульфатно-

гидрокарбонатные магниевые-кальциевые или натриевые с минерализацией 0,1-0,7 г/дм<sup>3</sup> [23].

Влияние подземных и поверхностных вод на здания и сооружения необходимо изучать и учитывать в силу того, что воды являются причиной опасных процессов (в Санкт-Петербурге таких как пьезун, суффозия, заболачивание, процессы промерзания и оттаивания и др.) [11].

## 2.2. Инженерно-геологические условия

Особой чертой литологического строения четвертичных отложений является существование техногенных насыпных и намывных грунтов, перекрывающих неустойчивые болотные, морские и озерно-ледниковые. Кроме того, часть территорий города занята отходами промышленного и строительного производства, хозяйственно-бытовыми отходами; что приводит в результате сложных биохимических процессов к разуплотнению и разжижению подстилающих их нижележащих грунтов.

В верхней части разреза четвертичных отложений были широко развиты болотные отложения, представленные торфом, ныне значительно сокращенные после торфоразработок и засыпок. Современные морские и озерные отложения голоцена развиты в центре города; для них характерна рыхлая структура и наличие растительных остатков. Грунты песчаные и гравийные рыхлые несвязные; не могут являться основанием сооружений.

Нижележащие озерно-ледниковые отложения распространены на поверхности в северной и центральной частях изучаемой территории. С севера на юг грунты меняются от рыхлых несвязных (песчаных) к мягким связанным (глинистым). Особенности является повышенная природная влажность и пористость, анизотропность механических свойств, высокая сжимаемость, пучинистость и тиксотропность; при сохранении естественного сложения могут являться основанием небольших сооружений. Осташковские ледниково-озерные отложения расположены на севере города. Представлены пеками, супесями, суглинками; можно рассматривать как надежное естественное основание для строительства.

Морские глины микулинского межледниковья, расположенные в центральных, северных и восточных районах, связаны с газопроявлениями горючего метана. Это следует учитывать при строительстве подземных сооружений, забивке глубоких свай и др. Ледниковые породы осташковского возраста развиты повсеместно, выдержаны по площади и могут быть надёжным естественным основанием для всех типов фундаментов. Однако по причине большого содержания плохо сортированного крупнообломочного материала возможны осложнения при проходке выработок, забивке свай и т. д.

Среди дочетвертичных пород в пределах Ижорского плато залегают карбонаты ордовика – трещиноватые и закарстованные известняки и мергели. Южный берег Невской губы слагают кембрийские в том числе «синие» глины сиверской свиты, которые (учитывая значения трещиноватости) используются в качестве оснований.

С точки зрения практического применения, среди дочетвертичных отложений выделяются вендские. Нижнекотлинская подсвита (песчаники, алевролиты, алевролиты с

прослоями глин) и верхнекотлинская подсвита (маловлажные, твердые, плотные, малосжимаемые глины с прослоями песчаников). Верхнекотлинский горизонт используют для строительства подземных сооружений (например, метрополитена), т. к. по характеристикам приближается к полускальным грунтам, однако важно учитывать трещиноватость и анизотропность [16].

## **Глава 3. Конструктивные особенности и принципы расположения сетей водоснабжения и водоотведения**

### **3.1. Общие положения**

Системы водоснабжения (водопроводные) и водоотведения (канализационные) относятся к подземным сетям, строительство и эксплуатация которых обладает рядом особенностей. Пристальное внимание при проектировании и строительстве обращается на:

- структурно-неустойчивые грунты;
- гидрогеологические условия территории;
- опасные геологические и инженерно-геологические процессы;
- поведение грунтов при проходке подземными выработками [7, 12].

Подземное строительство влияет как на наземные и подземные здания и сооружения, так и на вмещающие среды. Данные вопросы рассматривались многими учёными [18, 17, 19, 15, 14, 26, 13, 25, 27].

Выбор материалов и классов прочности подземных сооружений происходит в зависимости от внешних условий (типа вмещающих отложений, климата, характеристик грунтовых вод и др.) и от степени агрессивности транспортируемых стоков. Защита от коррозии осуществляется независимо от коррозионной агрессивности грунта путём применения защитных покрытий; остальные методы применяются в случаях, предусмотренных проектом трубопровода [3, 4].

Кроме материала труб, обладающего наибольшим значением, среди дестабилизирующих факторов также выделяют: наличие и качество изоляционного покрытия; возраст трубопровода; защита от электрокоррозии и коррозионная активность грунта; тип грунтов; величина напоров в сети; интенсивность транспортных потоков; наличие и глубина заложения подземных вод; глубина заложения труб; плотность населения [8].

Укладка труб обуславливается несущей способностью грунтов и величиной нагрузок самих сетей: в грунтах (кроме скальных, заторфованных и илов) трубы укладывают на естественный грунт ненарушенной структуры, после выравнивания поверхности. В скальных грунтах осуществляется выравнивание основания слоем песчаного грунта толщиной 10 см над выступами или местного (супесей и суглинков) при его уплотнении до веса скелета грунта 1,5 т/м. В слабых водонасыщенных грунтах: илах, заторфованных и др. трубы укладывают на искусственные основания или используют несъемную опалубку. В мокрых связанных грунтах (суглинков, глины) необходимость

песчаной подготовки решается проектом производства работ и зависит от мер по водопонижению; типа и конструкции труб [8].

Размещение инженерных сетей водоснабжения и водоотведения рекомендуется осуществлять в пределах поперечных профилей улиц и дорог под тротуарами или разделительными полосами в траншеях или тоннелях (проходных коллекторах). При ширине проезжей части более 22 м следует предусматривать размещение сетей водопровода по обеим сторонам улиц.

При необходимости одновременного размещения тепловых и газовых сетей диаметром 500-1000 мм, водопровода до 500 мм и кабелей – свыше 10 мм, а также на пересечениях с магистральными улицами и железнодорожными путями инженерные сети располагают в проходных коллекторах (тоннелях).

Расстояния от сетей водопровода, канализации до различных объектов варьирует: до памятников истории и культуры следует принимать не менее 15 м; от канализации до деревьев расстояние должно составлять 1,5 метра; от водопроводов до стволов деревьев – 2,0 метра; до зданий и сооружений следует принимать по таблице 1 [10, 6].

Между соседними сетями при их параллельном размещении расстояния следует принимать по таблице 2.

Расстояния между водопроводами обуславливаются техническими и инженерно-геологическими условиями. Расстояния от бытовой канализации до хозяйственно-питьевого водопровода следует принимать не менее 1,5 м. Для трубопровода из водопроницаемых материалов (например, железобетонных труб) следует предусматривать гидроизоляцию для предотвращения попадания аварийных стоков [10, 6].

Таблица 1. Расстояния от подземных сетей до сооружений [10, 6]

Инженерные сети	Расстояние, м, по горизонтали (в свету) от подземных сетей до								
	фундаментов зданий и сооружений	фундаментов ограждений предприятий, эстакад, опор контактной сети и связи, железных дорог	оси крайнего пути		бортового камня улицы, дороги (кроме проезжей части, укрепленной полосы обочины)	наружной бровки кювета или подошвы насыпи дороги	фундаментов опор ВЛ напряжением		
			железных дорог колеи 1520 мм, но не менее глубины траншеи до подошвы насыпи и бровки выемки	железных дорог колеи 750 мм и трамвая			до 1 кВ наружного освещения контактной сети трамваев и троллейбусов	св. 1 до 35 кВ	св. 35 до 110 кВ и выше
Водопровод и напорная канализация	5	3	4	2,8	2**	1**	1	2	3
Самотечная канализация (бытовая и дождевая)	3	1,5	4	2,8	1,5**	1**	1	2	3

Таблица 2. Расстояния между соседними сетями [10, 6]

Инженерные сети	Расстояние, м, по горизонтали (в свету) до								
	водопровода	канализации бытовой	дренажа и дождевой канализации	силовых кабелей всех напряжений	кабелей связи	тепловых сетей		каналов, тоннелей	наружных пневмомусоропроводов
						наружная стенка канала, тоннеля	оболочка бесканальной прокладки		
Водопровод	См. прим.1	См. прим.2	1,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1
Канализация бытовая	См. прим 2, 3	0,4	0,4	0,5	0,5	1	1	1	1
Канализация дождевая	См. прим 2, 3	0,4	0,4	0,5	0,5	1	1	1	1

Глубина заложения труб водоотведения принимается в соответствии с СП 131.13330 и опытом эксплуатации сетей в районе объекта; она определяется материалами труб, их диаметрами, грунтовыми условиями, материалами засыпки, шириной траншеи и методами производства работ. Минимальную глубину заложения допускается принимать выше отметки глубины проникания в грунт нулевой температуры в зависимости от диаметра труб: на 0,3 м для труб диаметром до 500 мм; на 0,5 м – более 500 мм. В местах путей наземного транспорта глубина должна быть не менее 0,7 м до верха трубы (от отметки планировки земной поверхности) [9].

### 3.2. Устройство сетей в Санкт-Петербурге

Протяженность действующей водопроводной сети и канализационной системы Санкт-Петербурга на 2016 год составляет 7051 км и 8607 км соответственно. Большая доля материалов водопроводных труб представлена чугуном и сталью, а канализационных труб – бетоном и железобетоном. В зависимости от материалов, условий и соблюдения правил эксплуатации, сети могут служить 30-50 лет, более 50 лет и даже более 100 лет. Доля водопроводных труб из серого чугуна и стали постепенно сокращается (так как на данный материал приходится 80% повреждений) благодаря их замене на трубы других материалов: ВЧШГ (высокопрочный чугун с шаровидным графитом), полимеры и т. д. [11].

Необходимая глубина прокладки водопроводных труб зависит от географической местности и характера почвы. Средние показатели глубины заложения в соответствии с СП для исследуемой территории (т.е. северных областей) 2-3,5 м [29].

При прокладке канализационной сети используют бестраншейные способы проходки, которые позволяют исключить проблему прорывов напорных вод. Данная технология предполагает сооружение стартовых и приемных котлованов (назначение заключается в спуске, монтаже/демонтаже оборудования и прокладке канализационного тоннеля), стенки и дно которых расположены в четвертичных отложениях. Поэтому возникает проблема гарантии устойчивости стенок и дна выработок, зависящая от величины напора [28].

Выбор защитного покрытия труб (в том числе из ВЧШГ) зависит в основном от:

- удельного электрического сопротивления грунта;
- pH грунта;
- наличия грунтовых вод на уровне трубы;
- присутствия блуждающих токов;
- наличия коррозионных элементов, обусловленных наружными металлическими конструкциями (изучается как грунт, так и блуждающие токи);
- возможности загрязнения грунта сточными водами или отходами [8, 5].

## Глава 4. Анализ методики оценки распределения аварий

### 1) Описание механизмов

В качестве исходных данных имеются координаты точек расположения событий (аварий различного типа) на территории города. Совокупность данных по аварийности кроме привязки к координатам имеет дополнительную информацию: порядковый номер, индекс, причины (рисунок 4), месяц и год. А также позже в базу данных были добавлены геологические характеристики места аварий – литологический состав, генезис и возраст отложений.

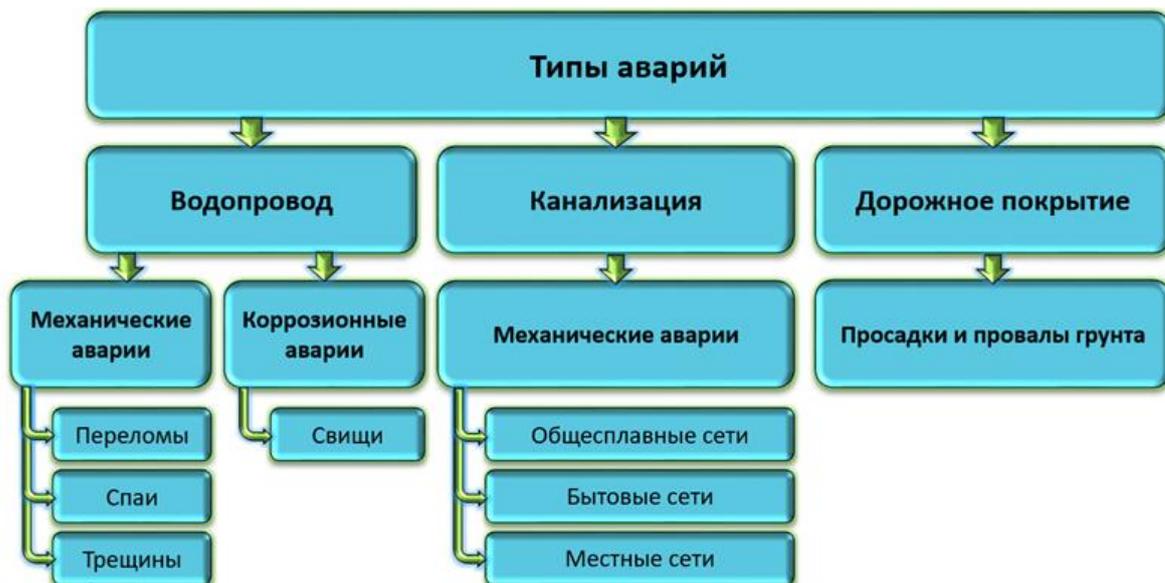


Рисунок 4. Рассматриваемые типы аварий

### 2) Распределение аварий

Первоначально анализировалось распределение аварийности (для наглядности использовалась процентная оценка) по причинам, годам, месяцам, и типам четвертичных отложений. Далее были построены комплексные диаграммы, включающие накопительные месячные графики и гистограммы, совмещающие пространственно-временные характеристики с количеством аварий. Помимо того, рассматривались зависимости генетических типов отложений от времени и вызвавших их причин.

Однако ранее не учитывалось, что плотность расположения коммуникационных сетей по городу неоднородна; вес любой аварии был равен единице. Поэтому для последующей работы стало необходимым минимизировать влияние их неравномерного положения.

### 3) Нормировка

С этой целью было проведено нормирование веса каждой аварии в зависимости от количества зданий на единицу площади (плотность расположения). Данный подход

можно объяснить прямой линейной зависимостью числа водопроводных и канализационных сетей с количеством зданий (и жилых, и промышленных) рисунок 5.

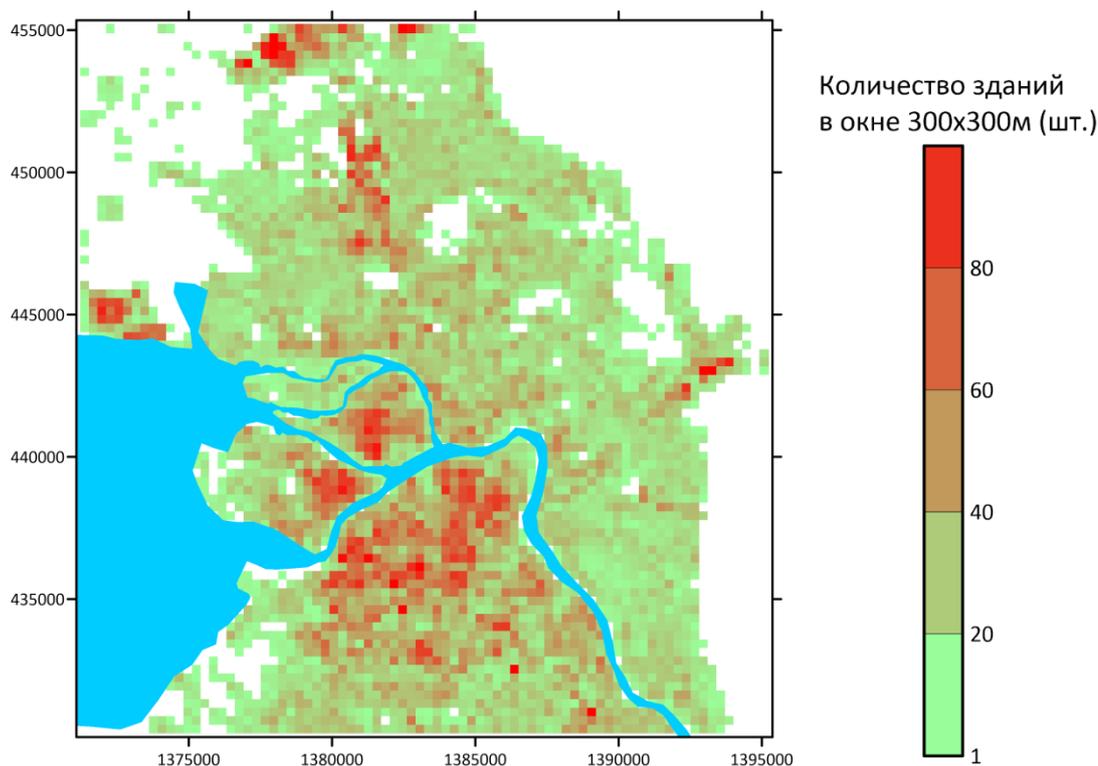


Рисунок 5. Карта плотности зданий

Введённый нормирующий (поправочный) коэффициент рассчитывался по следующему алгоритму:

- 1) площадь Санкт-Петербурга была разделена на квадратные блоки с длиной стороны 300 метров;
- 2) подсчитывалось количество зданий, входящих в каждый из блоков ( $N_{z_i}$ , где  $i$  - номер блока);
- 3) был выявлен блок с минимальным количеством зданий ( $N_{z_{min}}$ ), количество фиксируется;
- 4) нормирующий коэффициент ( $k$ ) вычислялся для каждого блока по формуле  $k = N_{z_{min}}/N_{z_i}$  (т.е. он представляет собой отношение минимального количества зданий к числу зданий в искомом квадрате);
- 5) каждая единичная авария в соответствии с блоком, на котором она произошла, умножается на нормирующий коэффициент, в результате чего получены значения, минимизирующие влияние неравномерности застройки.

Схемы, иллюстрирующие аварийность до и после нормировки представлены на рисунке 6.

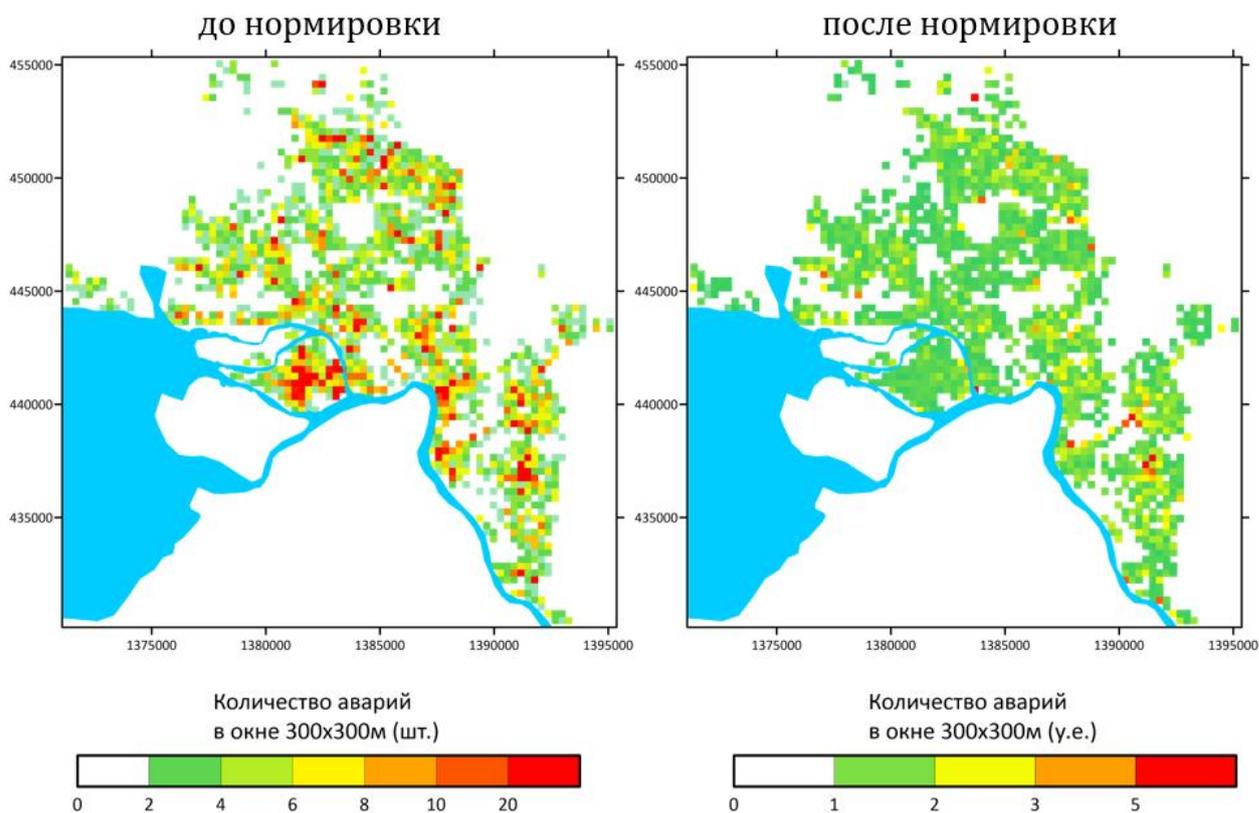


Рисунок 6. Нормировка количества аварий в соответствии с плотностью коммуникаций

По окончании работы, требуется сопоставить графики (ненормированные и нормированные) с целью выявления чёткой ритмичности или закономерностей расположения аварийности в целом и сравнить методологии на предмет лучшей и более корректной.

#### 4) Прогнозные карты (необходимость учёта защитных мероприятий)

На основании численных результатов исследования, рекомендуется построение схематических карт опасности территории с выделением зон влияния четвертичных отложений на положение аварий в зависимости от их причин.

Этот подход может использоваться для дальнейших подобных крупномасштабных работ при инженерно-геологических изысканиях.

## Глава 5. Оценка распределения аварий

### 5.1. Распределение аварий по причинам

Работа стала выполнима благодаря базе данных аварийности ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», предоставленных ООО «Спецгеосервис».

Точки аварий водопроводов и канализационных сетей за период 2005-2008 гг. были перенесены с бумажного носителя (атласа Санкт-Петербурга) на топографо-административную карту в программе MapInfo Pro 15.0 (что позволило получить цифровую версию и координаты), и после в программе ArcMap 10.8 привязаны к карте четвертичных отложений с целью изучения распределения аварий по различным показателям: время, причины, генетические типы грунтов, гранулометрический состав грунтов (рисунок 7).

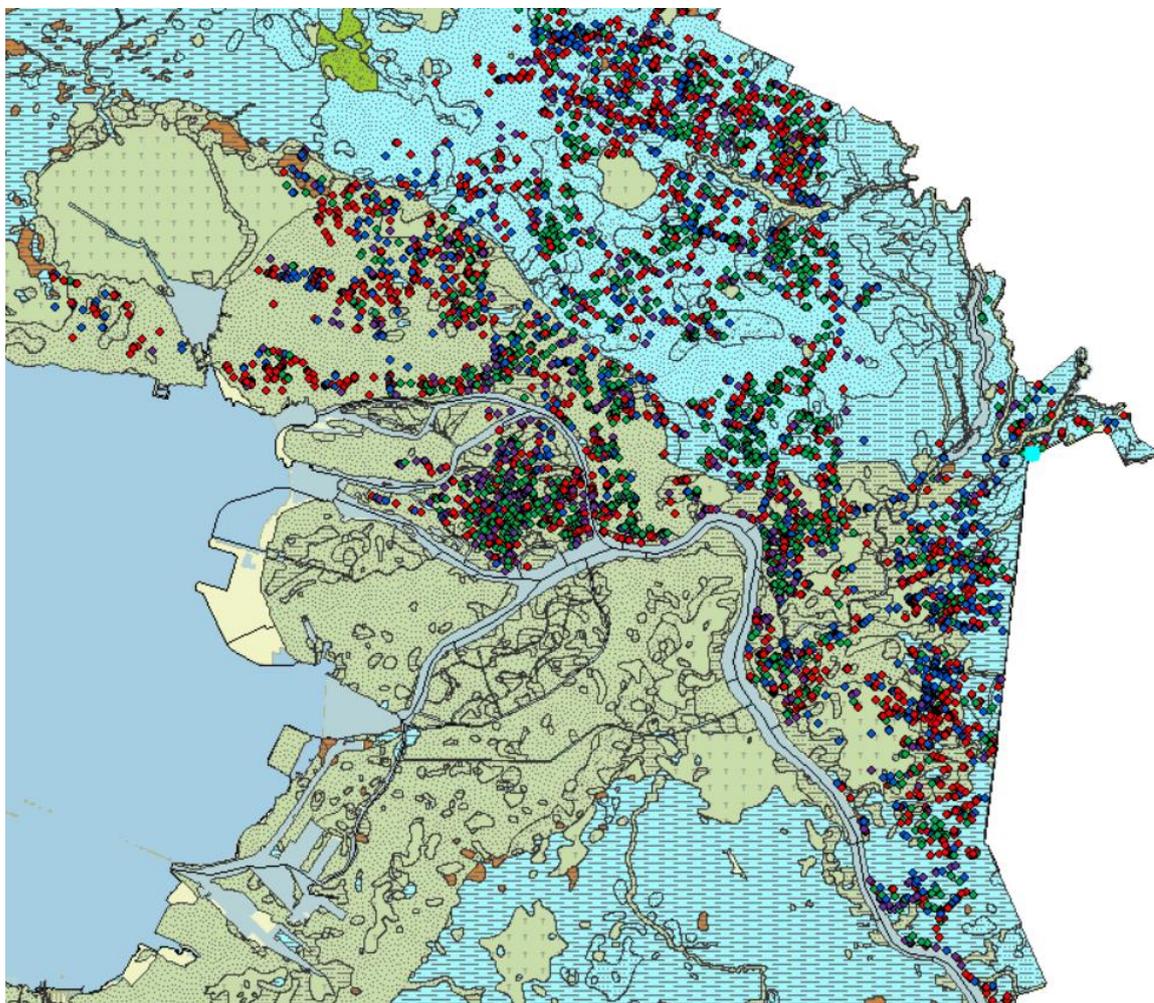


Рисунок 7. Привязка карты аварийности к карте четвертичных отложений (масштаб 1:25 000)

Все результаты (координаты, дата, причина, генетический тип отложений и др.) заносились в электронную базу в программе Excel (рисунок 8).

1	number	atlas_sheet	index	accident_index	type_of_accident	month	year	koord_x	koord_y	FIRST_LITO	FIRST_STRA
23	22	31	206	ТР	mechanical	2	6	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
24	23	31	203	П	mechanical	2	6	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
25	24	31	201	ПР	subsidence	7	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
26	25	31	60	ТР	mechanical	2	5	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
27	26	31	179	ПР	subsidence	7	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
28	28	31	435	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
29	29	31	441	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
30	30	31	432	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
31	31	31	1135	СП	mechanical	11	6	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
32	32	31	540	ПР	subsidence	10	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
33	34	31	457	ПР	subsidence	9	2	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
34	35	31	658	ПР	subsidence	2	8	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
35	36	31	434	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Пески мелкие и пылеватые	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
36	37	31	436	ПР	subsidence	4	7	#####	#####	Пески средние, крупные и гр	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
37	38	31	442	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Пески средние, крупные и гр	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
38	39	31	24	СП	mechanical	8	5	#####	#####	Пески средние, крупные и гр	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
39	40	31	715	ПР	subsidence	3	8	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
40	41	31	426	ПР	subsidence	9	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
41	42	31	58	С	corrosion	11	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
42	43	31	56	СП	mechanical	1	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
43	44	31	6	ПР	subsidence	5	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
44	46	31	67	С	corrosion	8	8	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
45	48	31	75	П	mechanical	1	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
46	49	31	77	ТР	mechanical	5	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о
47	50	31	48	ПР	subsidence	5	7	#####	#####	Супеси	Плейстоцен. Осташковский горизонт. Водно-ледниковые о

а)

Обозначение типов аварий			
<b>П</b>	переломы	Механические аварии водопроводов	<u>mechanical</u>
<b>СП</b>	спаи		<u>mechanical</u>
<b>ТР</b>	трещины		<u>mechanical</u>
<b>С</b>	свищи	Коррозионные аварии водопроводов	<u>corrosion</u>
<b>О</b>	общесплавные сети	Механические аварии канализационных сетей	<u>sewerage</u>
<b>Б</b>	бытовые сети		<u>sewerage</u>
<b>М</b>	местные сети		<u>sewerage</u>
<b>ПР</b>	просадки грунта	Аварии дорожного покрытия	<u>subsidence</u>

б)

Рисунок 8. Фрагмент созданной базы аварий; а) – таблица аварийности, б) – условные обозначения

Было отмечено 5488 аварий на правом берегу Невы в период с 2005 по 2008 года. Были проанализированы аварии, причинами которых являются (рисунок 4, рисунок 8):

- механические повреждения водопроводов и канализаций (mechanical и sewerage соответственно);
- коррозия водопроводов, они же свищи (corrosion = С);
- аварии дорожного покрытия, они же просадки грунта (subsidence = ПР).

В свою очередь, механические аварии сетей канализации разделены на:

- аварии бытовой канализации (Б), которая выводит отходы из жилых зданий;
- аварии местной канализации (М) с трубами большего диаметра, сообщающей между собой бытовые сети;
- аварии общесплавной канализации (О), представляющей собой часть ливнёвой канализации, которая собирает воду с поверхности городского дорожного покрытия, попадая в канализационные коллекторы.

Механические аварии сетей водоснабжения классифицируются по типу повреждения. Выделяются следующие причины:

- переломы (П) – это дефекты в виде перпендикулярного продольной оси полного разрыва трубопровода с возможным смещением соосности;
- спаи (СП) – это дефекты в виде углубления с закругленными краями на поверхности отливки, образованного не полностью слившимися потоками металла;
- трещины (ТР) – это дефекты разного ориентирования в виде неполного разрыва внешней или внутренней части тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия [1].

Использовались статистические методы обработки информации. Число аварий водопровода, где в качестве причины указаны "механические аварии", составило 35,97% (16,11% приходится на переломы; 14,43% – спаи; 5,43% – трещины). Коррозия также является фактором, в котором велика доля природной составляющей, аварий водопроводов по причине коррозии (свищи) было выделено 21,30%. К механическим авариям канализаций (30,08%) были отнесены аварии бытовых сетей (7,22%), местных сетей (4,57%) и общесплавных сетей (18,29%). Оставшиеся запротоколированные аварии произошли по причине просадок и провалов грунта дорожного покрытия. Таких аварий выделено 12,65% (рисунки 9 и 10).

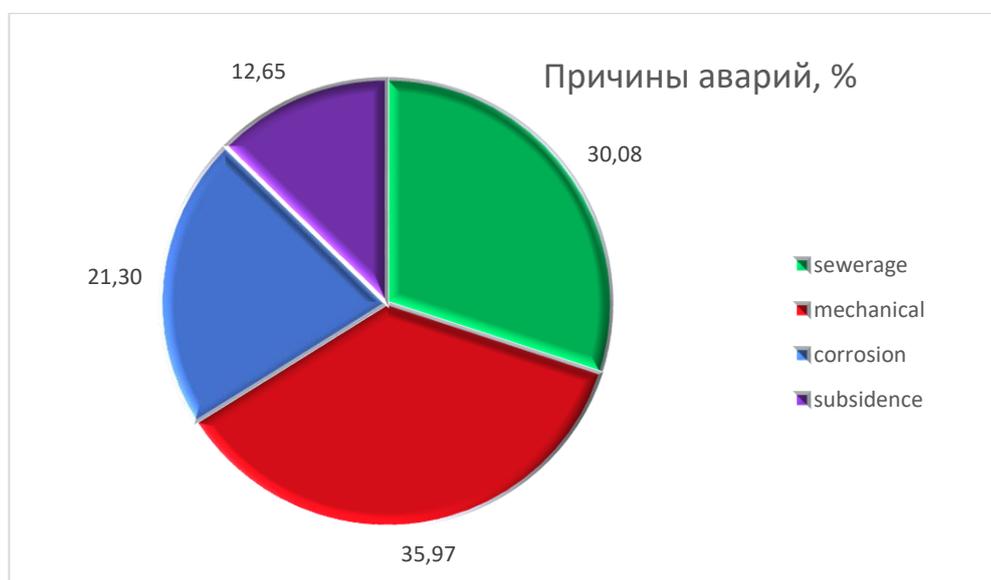


Рисунок 9. Распределение аварий Санкт-Петербурга по причинам: mechanical – механические аварии водопроводов; corrosion – коррозионные аварии водопроводов; sewerage – механические аварии канализационных сетей; subsidence – аварии дорожного покрытия



Рисунок 10. Распределение аварий Санкт-Петербурга по причинам

## 5.2. Временное распределение аварий

Сезонность изменения количества аварий на сетях водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга была описана в 2010-2011 годах А.Ф. Волыниным, а также позже ритмичность в зависимости от причин аварийности рассматривалась в статьях А.Ф. Волынина и А.Ю. Татарского 2020 и 2021 гг. [20, 21, 22].

Рассмотрим динамику аварий по месяцам и годам.

Основная выборка аварий приходится на период между 2005 и 2008 годами. Максимальное количество аварий отмечено во второй половине 2007 года и первой половине 2008 года. По большей части, диаграммы общего количества аварий (рисунки 11 и 12) относительно равномерны (с некоторыми осенними и весенними «проседаниями»), и нельзя выделить чётко выраженных закономерностей.

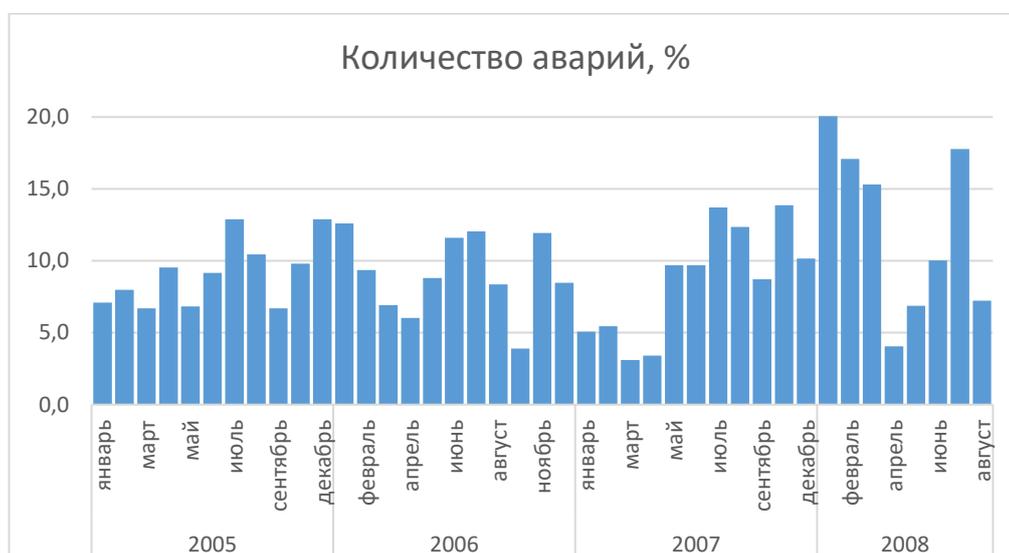


Рисунок 11. Распределение общего количества аварий по месяцам и годам

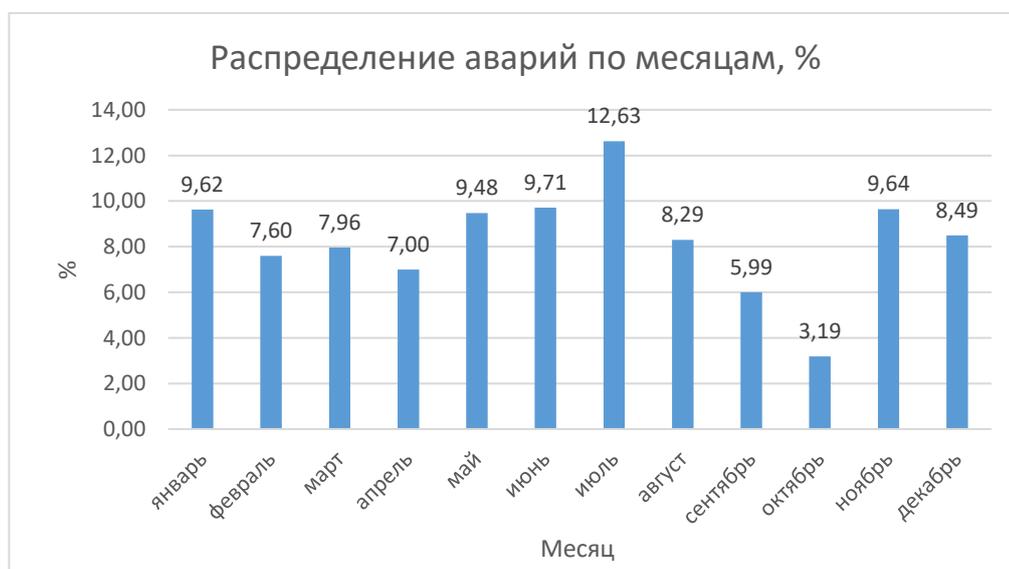
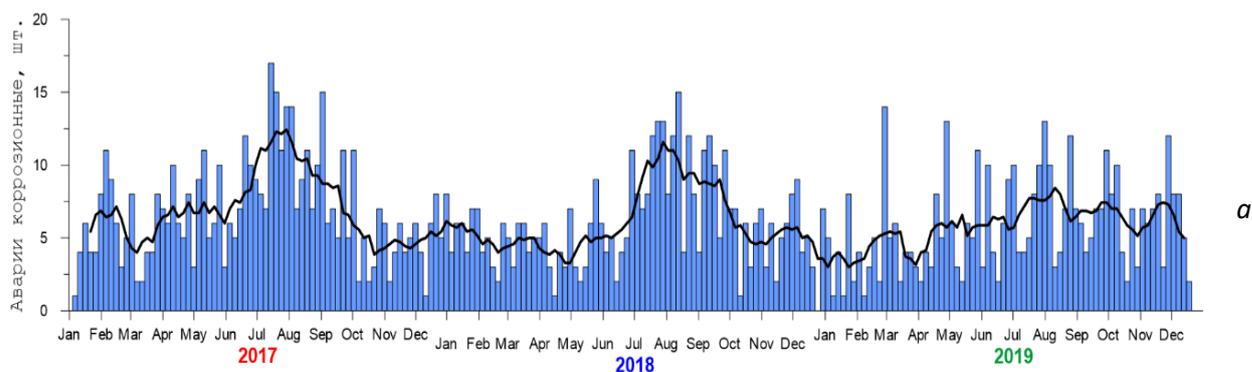


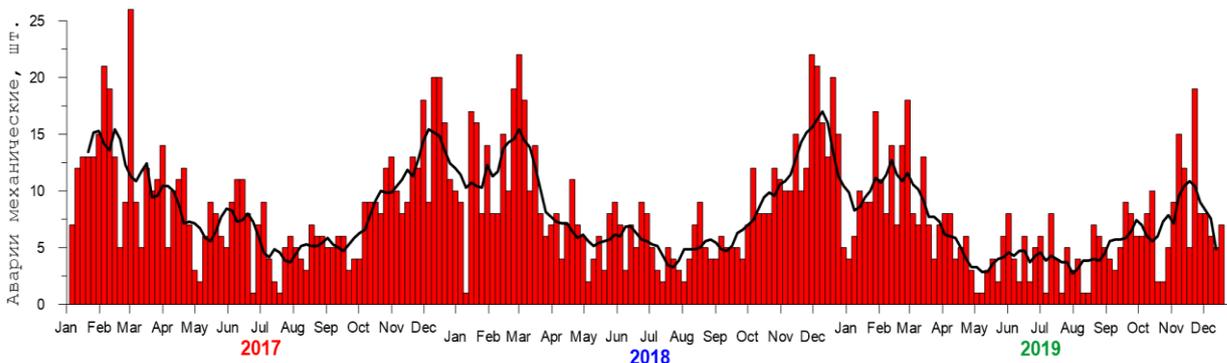
Рисунок 12. Распределение общего количества аварий по месяцам

Однако при анализе временного распределения аварийности по отдельным причинам (рисунок 7, таблица 3), ситуация меняется. Подтверждая выводы статей А. Ф. Волынина и А. Ю. Татарского [21, 22], наблюдается ритмичность для аварийности по причине коррозии и механической аварийности (рисунок 13).

Таблица 3. Временное распределение аварий по причинам.

Количество аварий								
Месяц	sewerage			mechanical			corrosion	subsidence
	Б	М	О	П	СП	ТР	С	ПР
Январь	170			245			86	27
	40	51	79	134	84	27		
Февраль	99			187			71	60
	20	8	71	92	70	25		
Март	191			141			44	61
	46	23	122	81	34	26		
Апрель	184			127			61	12
	47	24	113	66	46	15		
Май	147			165			131	77
	39	12	96	54	90	21		
Июнь	107			164			197	65
	26	16	65	48	88	28		
Июль	115			208			250	120
	24	27	64	66	88	54		
Август	94			132			148	81
	24	12	58	37	66	29		
Сентябрь	122			99			48	60
	35	15	72	26	52	21		
Октябрь	108			2			3	62
	25	15	68	1	0	1		
Ноябрь	155			271			70	33
	36	28	91	158	81	32		
Декабрь	150			226			55	35
	32	17	101	120	88	18		





б

Рисунок 13. Распределение аварий на водопроводах по количеству в течении года: “коррозионные” (а), “механические” (б) [21, 22]

Максимальные значения коррозионных аварий приходится на вторую половину летнего периода (до 68 событий в месяц); наименьшее количество (от 4 аварий за месяц) происходило в весенний период (рисунок 14).

Максимальное количество механических аварий водопроводов и канализаций (считались суммарные значения) зафиксировано в ноябре-декабре (до 125 аварий в месяц). Периоды минимальной аварийности (от 10 аварий за месяц) приходятся на весенний и осенние месяцы. Локальные точки экстремума характерны для середины лета (рисунок 15).



Рисунок 14. Временное распределение коррозионных аварий сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга



Рисунок 15. Временное распределение механических аварий сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга

В общем виде временное распределение аварийности сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга по причинам представлено на диаграмме 16. Распределение аварийности по причине просадок дорожного полотна выражено неявно. Можно только отметить сокращение количества происшествий в весенний интервал и небольшое преобладание в летний.

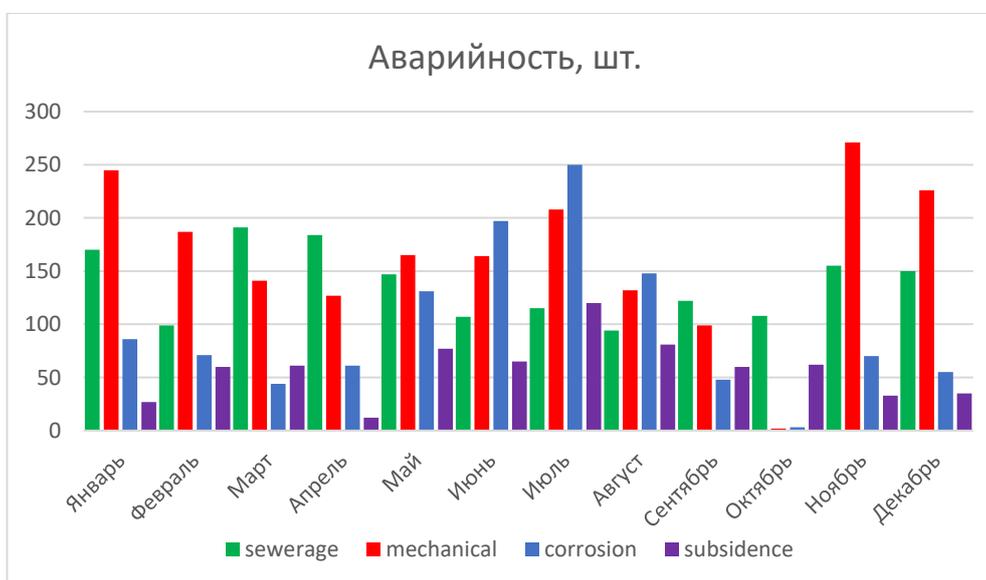


Рисунок 16. Временное распределение аварийности сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга по причинам (mechanical – механические аварии водопроводов; corrosion – коррозионные аварии водопроводов; sewerage – механические аварии канализационных сетей; subsidence – аварии дорожного покрытия)

Если рассматривать причины более детально (а именно механические аварии), то можно увидеть, что для механических аварий канализационных сетей (сетей водоотведения):

а) временное распределение аварий бытовых сетей и местных сетей не имеют ярко выраженной ритмичности (рисунки 17 и 18).

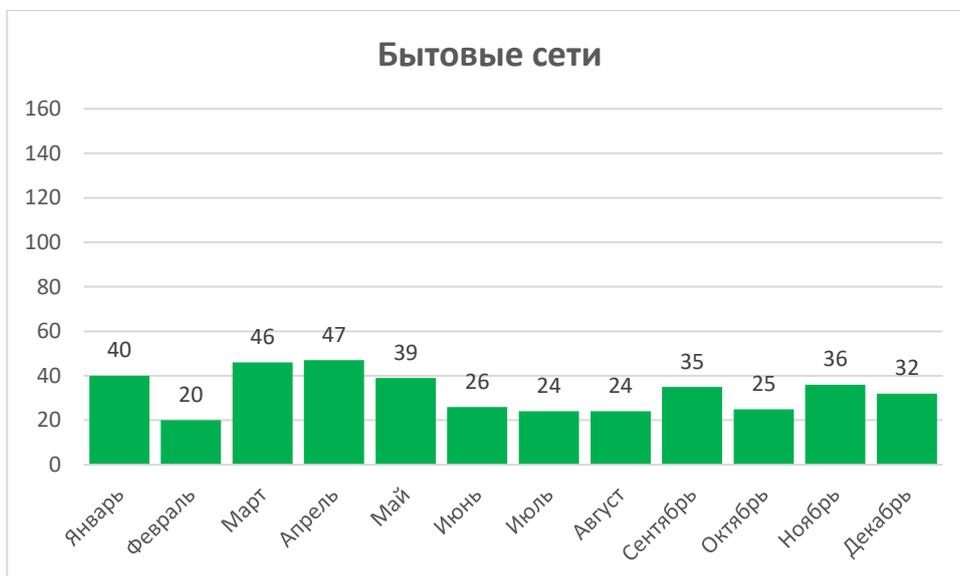


Рисунок 17. Временное распределение аварийности бытовых канализационных сетей

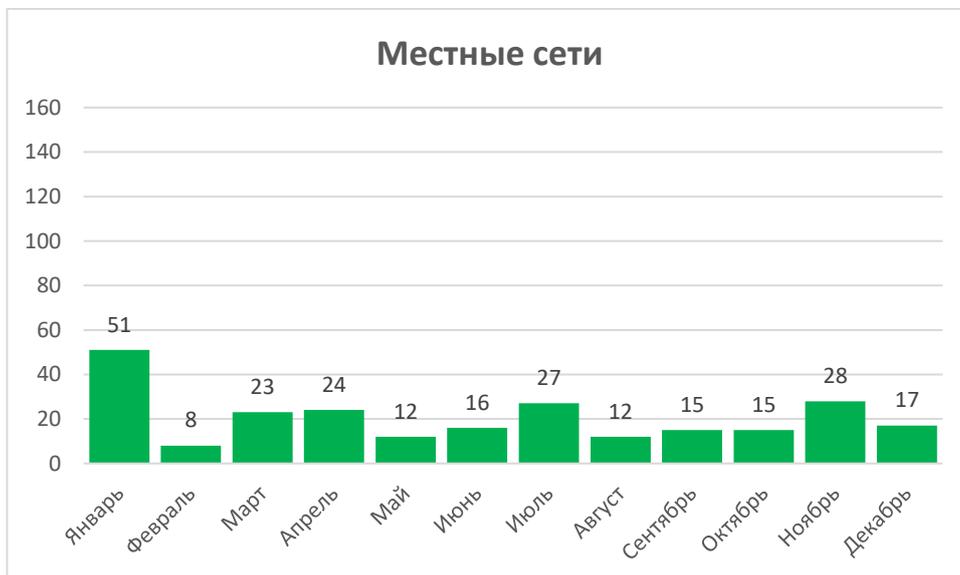


Рисунок 18. Временное распределение аварийности местных канализационных сетей

б) механические аварии общесплавных канализационных сетей характеризуются двумя максимальными периодами, приходящимися на начало зимы и, являясь наиболее выраженным, первую половину весны (рисунок 19).

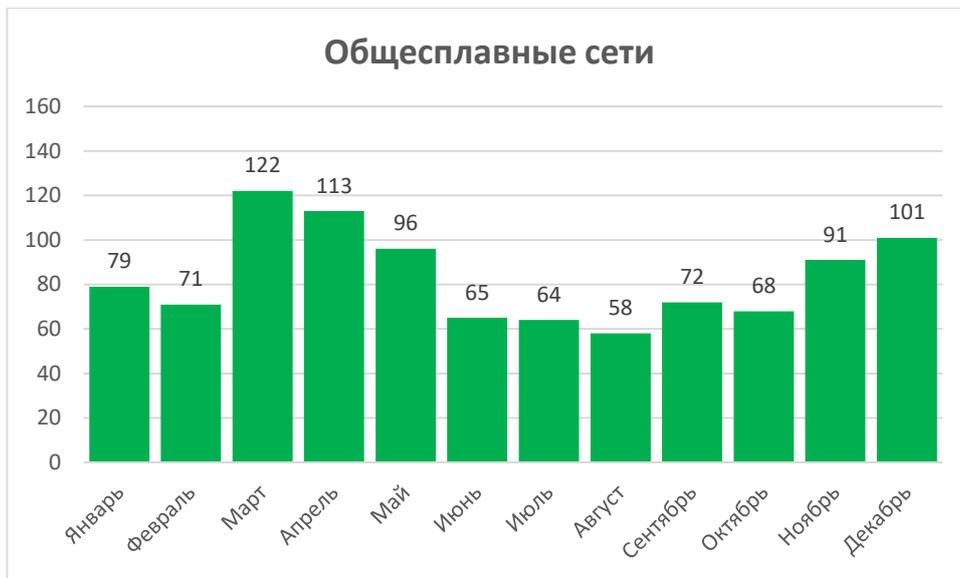


Рисунок 19. Временное распределение аварийности общесплавных канализационных сетей

А для механических аварий сетей водоснабжения:

а) аварийность водопроводов по причине переломов сильно возрастает с ноября по январь (рисунок 20).

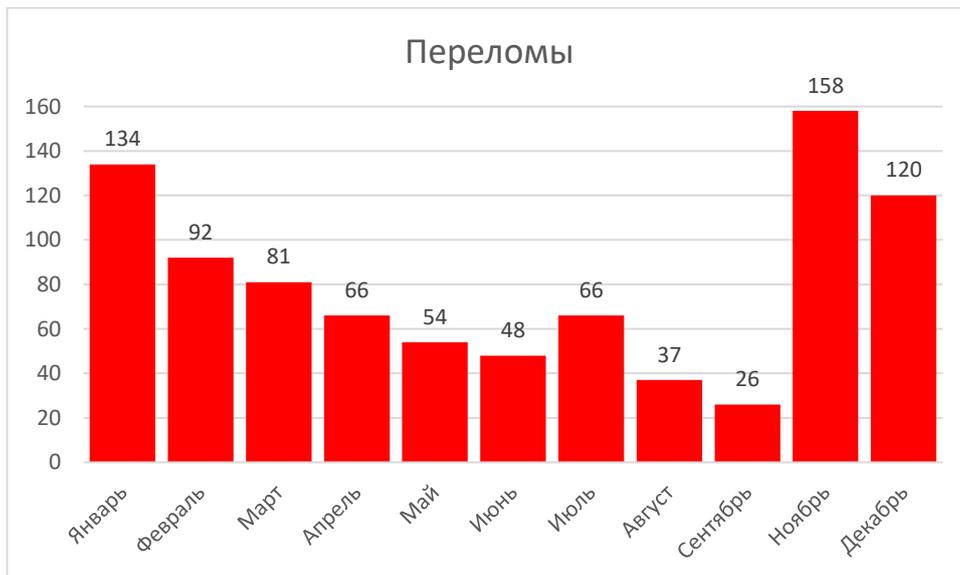


Рисунок 20. Временное распределение аварийности сетей водоснабжения по причине переломов

б) количество механических аварий, выраженных спиями, достигает максимальных значений в летние и зимние месяцы (рисунок 21).

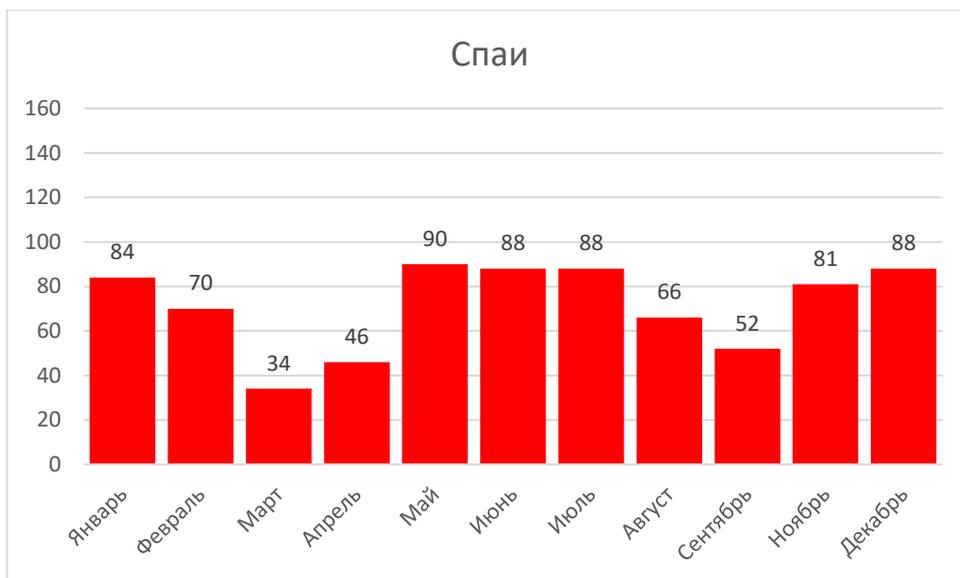


Рисунок 21. Временное распределение аварийности сетей водоснабжения по причине спаев

в) аварии, представленные трещинами, чаще всего случались в середине лета, однако, по сравнению с другими причинами аварийности водопроводов, рассматриваемый дефект не вносит значительный вклад в общий анализ в связи со своей немногочисленностью (рисунок 22).

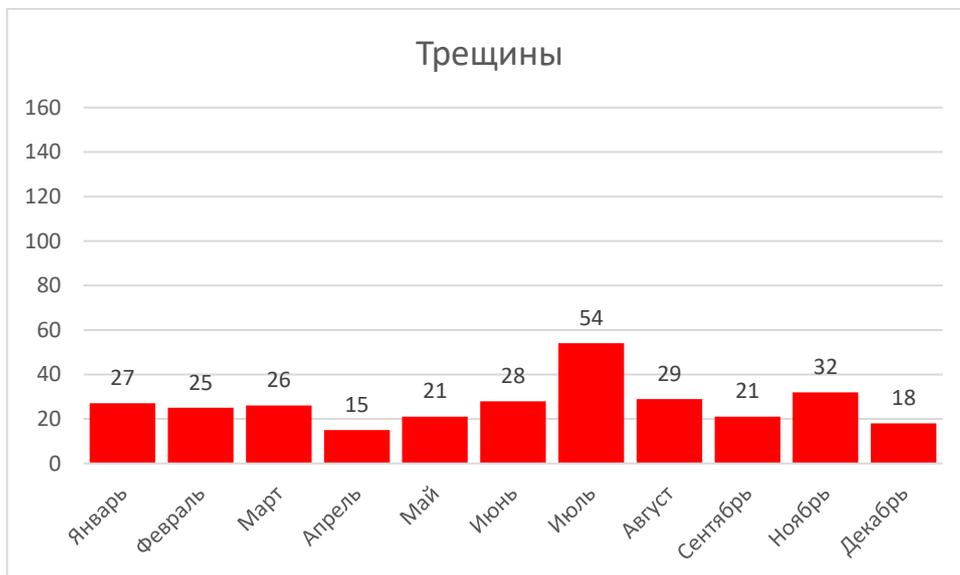


Рисунок 22. Временное распределение аварийности сетей водоснабжения по причине трещин

### 5.3. Приуроченность аварий к типам четвертичных отложений

#### 5.3.1. Пространственное распределение без учёта нормировки

Точки аварий приурочены к следующим генетическим типам отложений (рисунок 23): основной объём приходится на озёрно-ледниковые (lg) и голоценовые современные техногенные, биогенные, озерные, аллювиальные, морские, эоловые отложения (t, l, a, m, v) – 44,9 % и 43,8 % соответственно. 9,8 % аварийности составляют биогенные (b) отложения; 1 % – флювиогляциальные, они же водно-ледниковые (fg) отложения; 0,6 % – ледниковые отложения.



Рисунок 23. Распределение аварий по генетическим типам отложений

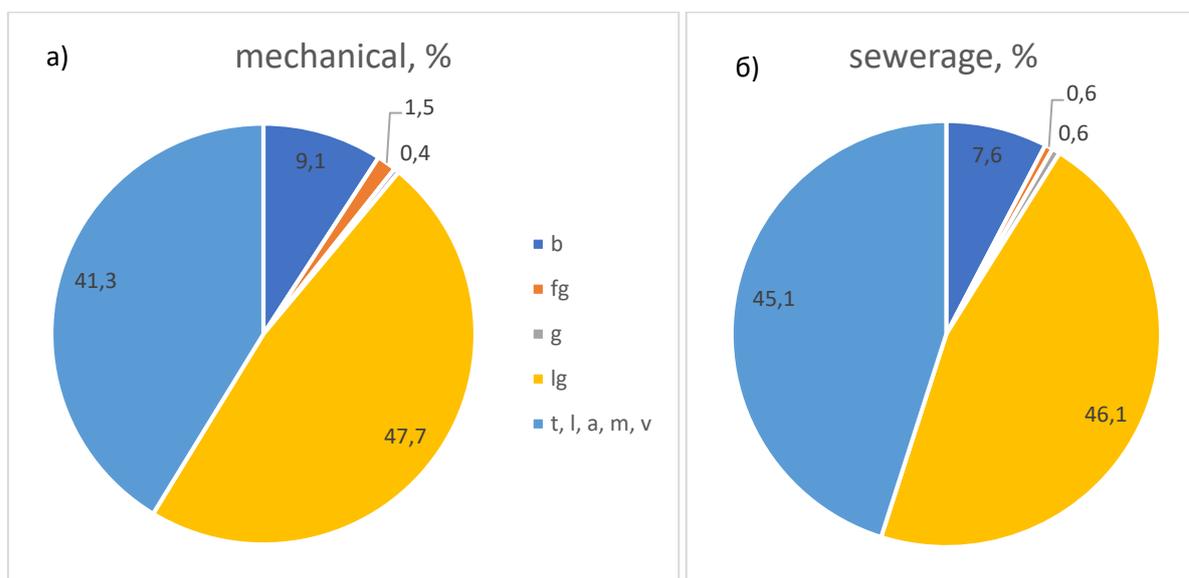


Рисунок 24. Распределений механических аварий по генетическим типам отложений; а) – аварии водопроводов, б) – канализаций

Однако при рассмотрении аварийности по причинам, распределение аварий в генетических типах отложений несколько меняет свою конфигурацию. Подобное процентное соотношение (рисунок 23) характерно для механических аварий систем водоснабжения и водоотведения (рисунок 24).

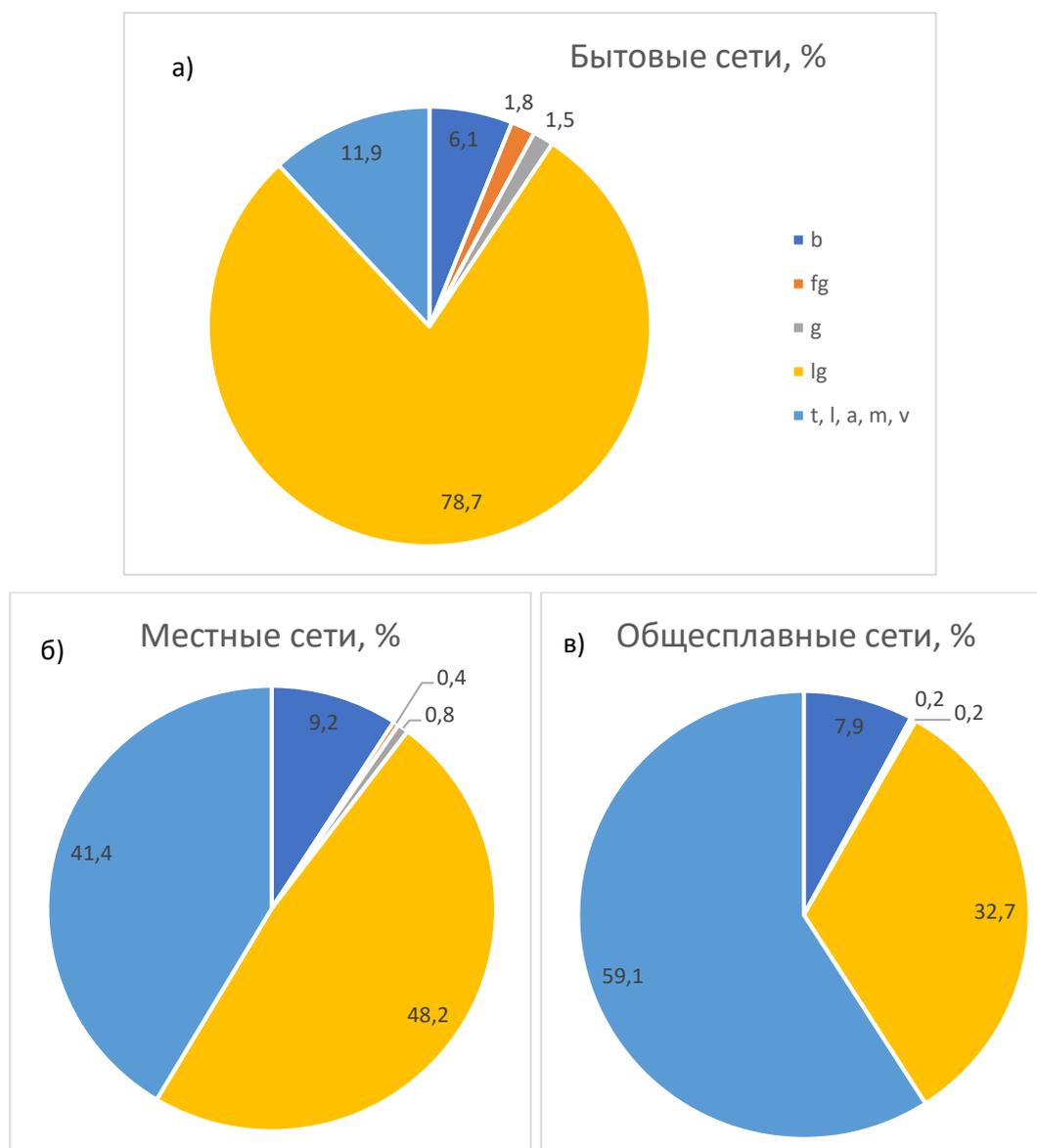


Рисунок 25. Распределение механических аварий канализационных сетей: а) – аварийность бытовых сетей, б) – местных сетей; в) – общесплавных сетей

Но при более детальном рассмотрении (рисунок 25) можно заметить, что механическая аварийность бытовых сетей канализаций преимущественно происходит в озёрно-ледниковых отложениях (78,7 %), общесплавных сетей канализации – в современных техногенных, биогенных, озерных, аллювиальных, морских, эоловых отложениях (59,1 %). Аварийность местных сетей близка к общему распределению (рисунки 23 и 25).

Механические аварии водопроводов (рисунок 26) по причине спаев и трещин в большей степени (около 10 %), чем канализационные, приурочены к биогенным отложениям. Но, тем не менее, переломы, спаи, трещины характерны для озёрно-ледниковых (52,0 %, 42,9 % и 47,6 % соответственно) и техногенных, биогенных, озерных, аллювиальных, морских, эоловых отложений (38,1 %, 45,4 % и 39,9 % соответственно).

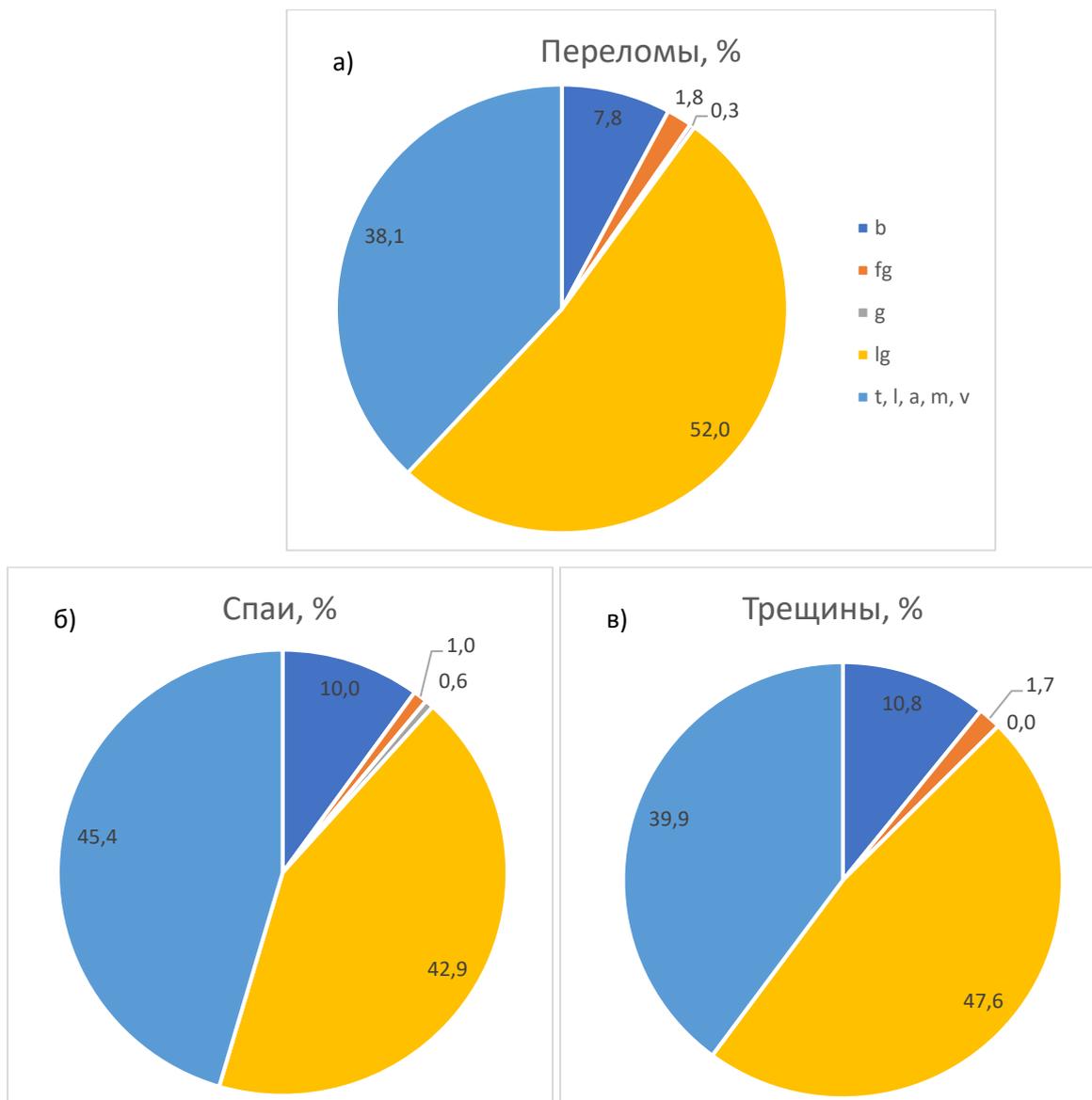


Рисунок 26. Распределение механических аварий водопроводных сетей: а) – аварийность по причине переломов; б) – спаев; в) – трещин

Наибольший процент биогенных отложений, представленных торфами, характерен для коррозионных аварий (16 %); в то время как только 5,5 % просадок грунтов происходят на биогенных. Коррозионная аварийность преимущественно приурочена к озёрно-ледниковым (43,1 %) и современным голоценовым отложениям (38,8 %). Аварии дорожных покрытий по причине просадок грунта чаще всего случались на современных

голоценовых отложениях: t, l, a, m, v – 56,2 %, а также озёрно-ледниковых отложениях – 37,4 % (рисунок 27).

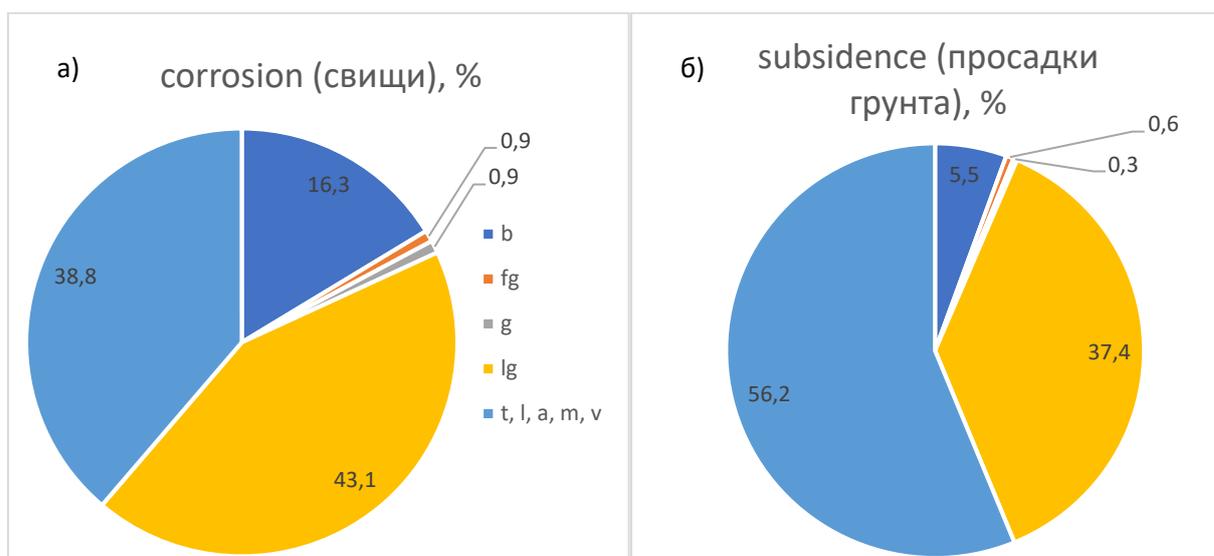


Рисунок 27. Распределение аварийности по генетическим типам отложений: а) – коррозионные аварии; б) – аварии дорожного покрытия

В соответствии с СП 23.13330.2018 «ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ», п. 5.3 «Для классификации грунтов и проектирования оснований гидротехнических сооружений необходимо определять экспериментально и вычислять следующие классификационные характеристики грунтов: гранулометрический состав; плотность  $\rho$ ; природную влажность  $W$ ; коэффициент пористости  $e$  и др.» [7]. На аварийность подземных сооружений, к которым относятся исследуемые в данной работе системы водоснабжения и водоотведения, значительное влияние может оказывать литологический состав отложений, которые являются его основанием или вмещающей средой. В зависимости от состава, изменяются его физические свойства: сила промерзания, пористость, влагопроницаемость, возможность грунта к вспучиванию или просадкам, что может изменить состояние инженерных сооружений, повлиять на их устойчивость к износу и сократить срок эксплуатации. Стоит отметить, что некоторым типам отложений, например, биогенным, характерна большая биологическая агрессивность [2].

Для анализа аварийности, в качестве основных параметров, были выделены пять групп грунтов:

1. пески мелкие и пылеватые;
2. пески средние, крупные и гравелистые;
3. супеси;

4. суглинки, глины;

5. торфа.

Информация об их расположении была извлечена из созданной ГИС карты, где литологический состав представлен полупрозрачными заштрихованными областями. Благодаря наложению на эти контуры точек с авариями, стало возможным увидеть распределение аварий по типам грунтов, к которым они приурочены, проанализировать его и выявить возможные закономерности. По окончании исследований были получены графики. Для наглядности выполненной нормировки и сравнения результатов нормированного и ненормированного подходов, приводятся исходные данные (рисунок 28) и данные с нормировкой аварий (рисунок 29).

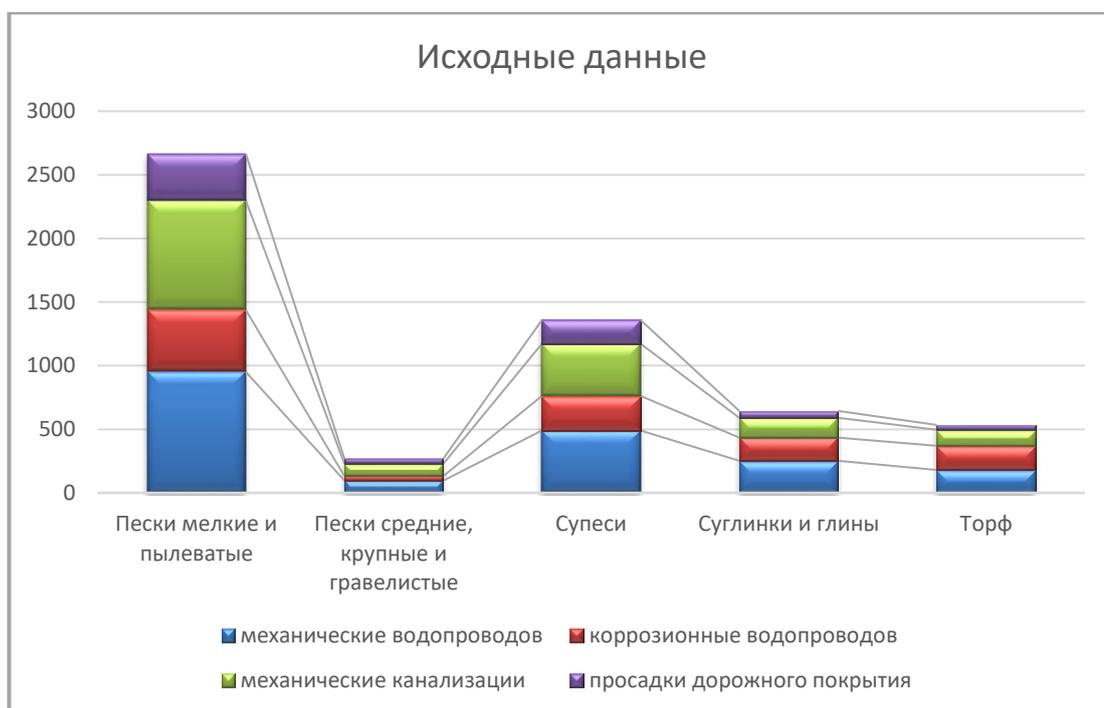


Рисунок 28. Количество аварий (ед.) по типам для основных групп грунтов без учета плотности коммуникаций и неоднородности распространения грунтов

На рисунке 28, полученном на основе исходных ненормированных данных, наблюдается разделение аварий по разным типам внутри каждой группы грунтов. Но полученное распределение нельзя назвать репрезентативным, поскольку оно искажено, так как не учтена распространенность грунтов на исследуемом участке. Наиболее аварийными можно назвать песчаные мелкозернистые и пылеватые грунты, на которых произошло 48,7 % всех аварий. Высокая аварийность наблюдается и в супесях – около 24,8 % всех аварий. Что может быть объяснено широким распространением вышеуказанных грунтов в районах строительства и эксплуатации изучаемых инженерных сооружений.

### 5.3.2. Пространственное распределение с учётом нормировки

Из-за неравномерного залегания разных типов грунтов на исследуемой территории, необходимо привести анализируемые данные к одному масштабу. Был рассчитан поправочный (нормирующий) весовой коэффициент для каждой группы грунтов, зависящий от площади распространения грунтов и плотности застройки: для грунтов минимального распространения он был принят за единицу, и уменьшался линейно с возрастанием плотности коммуникаций (количества зданий в пределах группы грунтов). Нормирующий коэффициент для групп грунтов был рассчитан аналогично описанному в главе 4: его умножают на сумму аварий в каждой группе грунтов для корректного и всестороннего анализа. Единицами удельной аварийности, полученной после введения нормирующего коэффициента, служат условные единицы (у.е.), которые показывают число аварий каждого типа, с учётом его веса, зависящего от плотности коммуникаций в каждой группе грунтов и распространённости грунтов (приложение А).

Диаграммы по данным с нормировкой аварий (рисунок 29) отличаются по распределению от результатов по исходным данным. На самом графике указаны процентные показатели аварийности по каждой причине в пределах каждой группы грунтов. Выявлено примерное сохранение процентных соотношений количества аварий разного типа внутри каждой группы грунтов. Наблюдается максимальная аварийность в торфах (439 у.е.), а также в суглинках и глинах (385 у.е.), минимальная – в мелких и пылеватых песках (250 у.е.).

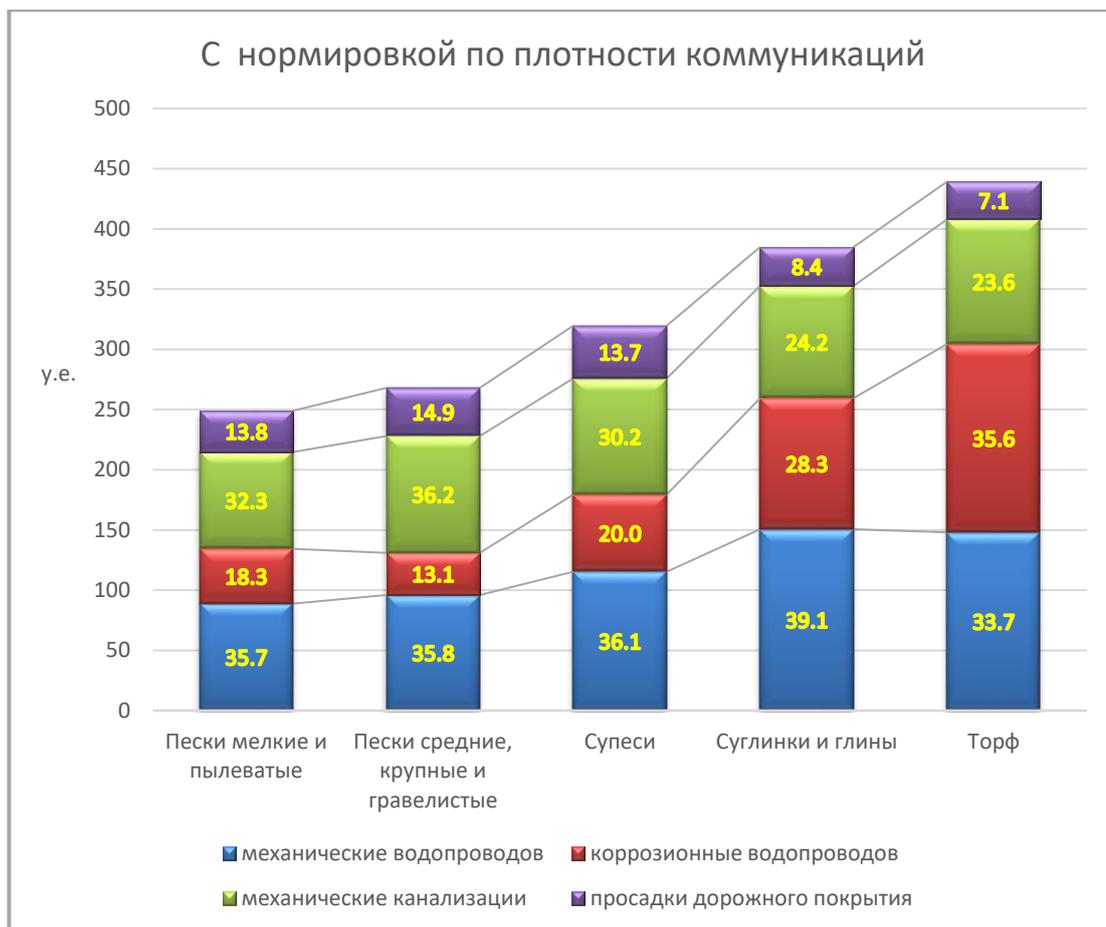


Рисунок 29. Количество аварий (у. е.) по типам для основных групп грунтов с нормировкой по плотности коммуникаций

Были получены следующие результаты:

1. Процент механической аварийности водопроводов и канализации в мелких и пылеватых песках составили 35,7% и 32,3% соответственно; коррозионной аварийности равен – 18,3%, по причине просадок дорожного полотна – 13,8%.
2. В отложениях средних, крупных и гравелистых песков преобладают механические аварии сетей водоснабжения и водоотведения (в сумме 72,0 %); произошло 13,1% коррозионных аварий, и 14,9% аварий в результате просадок и провалов.
3. Доля механических аварий водопроводов в супесях составляет 36,1%, механических аварий канализации – 30,2%; аварий по причине коррозии – 20,0%; просадок и провалов – 13,7%.
4. В суглинках и глинах соотношение аварийности выглядит следующим образом: механические аварии водопроводов – 39,1%, механических аварий канализации – 24,2%; коррозионные аварии водопроводов – 28,3%; просадки дорожного покрытия – 8,4%.

5. Распределение аварийности в биогенных отложениях, представленных торфами, таково: преобладают механические аварии (в сумме 57,3 %); коррозионные аварии составляют 35,6%; провалы и просадки – 7,1%.

Был построен график для каждой причины аварий (рисунок 30), который демонстрирует процентное соотношение грунтов разного типа, на чьей территории случились события.

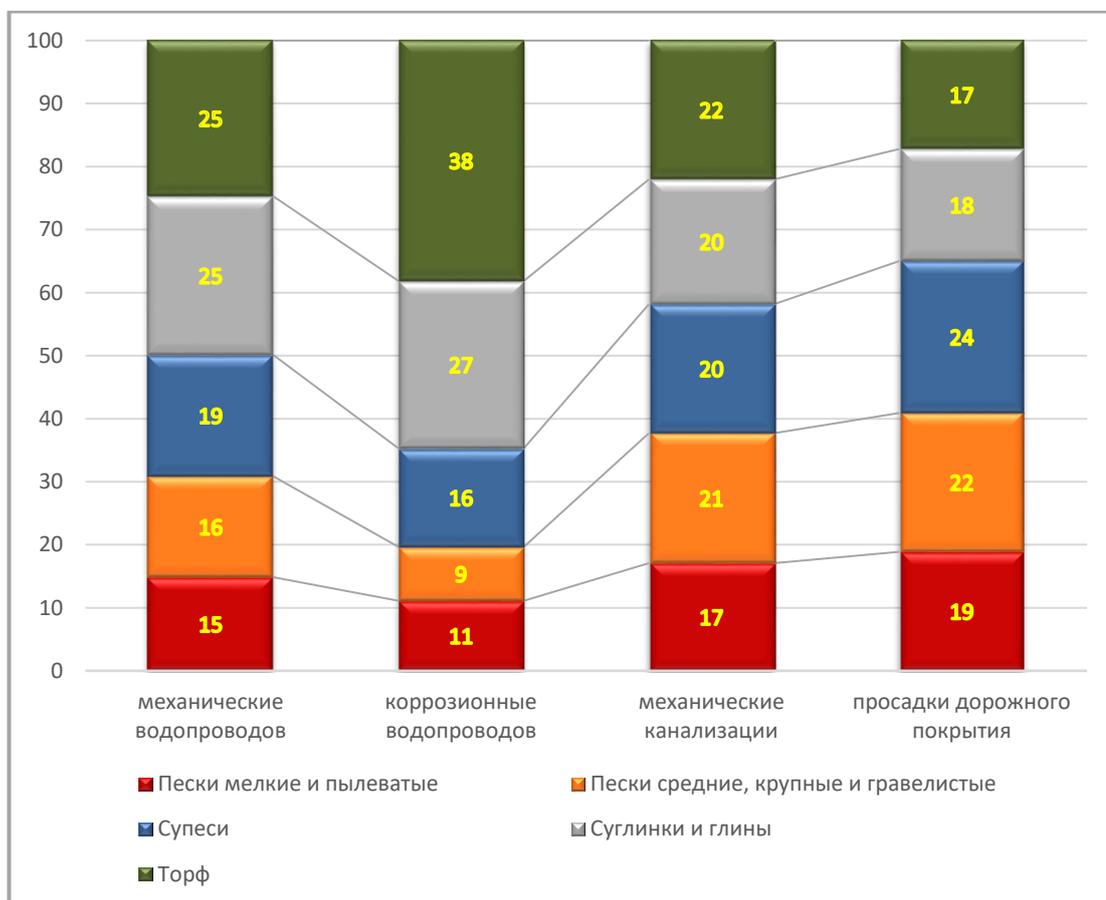


Рисунок 30. Распределение основных групп грунтов (%) для различных типов аварий

Распределение основных групп грунтов для различных типов аварий характеризуется тем, что:

1. Механическая аварийность водопроводов приурочена к глинистым и органическим отложениям (по 25%), 19% – к супесям, 15% – к мелким и пылеватым пескам, 16% – к средним, крупным и гравелистым пескам.

2. Максимальный процент аварий по причине коррозии составляют аварии на торфах (38%) и глинистых грунтах (27%), 16% аварий приходится на супеси, 11% – на мелкие и пылеватые пески, 9% - на пески средние, крупные и гравелистые.

3. Механические аварии канализации распределяются относительно равномерно: 22% аварий – на торфяных грунтах, 20% – на суглинистых и глинистых грунтах, 20% – на супесчаных грунтах, 17% – на мелкозернистых песчаных грунтах, 21% – на крупнозернистых песчаных грунтах.

4. Соотношение просадок дорожного покрытия по типам подстилающих грунтов тоже достаточно равномерно: 17% – на биогенных отложениях, 18% – на суглинках и глинах, 24% – на супесях, 41% – на песках (22% – на мелкозернистых, 19% – на крупнозернистых).

Наблюдается явная приуроченность коррозионной аварийности к областям распространения биогенных и глинистых грунтов (особенно к торфам – 38%). Для песчаных грунтов характерен рост доли механических аварий канализации и просадок дорожного покрытия, но данные причины аварийности в целом не показывают явных закономерностей.

Данные по механической аварийности водопроводов говорят об их преимущественной приуроченности к песчаным грунтам (сумма долей которых равна 31%). Стоит отметить процент аварий в суглинках и глинах, а также в торфах (по 25%).

#### 5.4. Приуроченность аварий к типам четвертичных отложений в зависимости от временного распределения

В связи с тем, что озёрно-ледниковые (lg); современные техногенные, озёрные, аллювиальные, морские, эоловые (t, l, a, m, v); а также биогенные (b) отложения абсолютно преобладают для любых типов аварий используемой в данной работе классификации (их сумма выше 96 %), можно считать их специализированные выборки наиболее подходящими для анализа.

В общем виде (без подразделения по группам) ситуация с аварийностью представлена на диаграммах рисунка 31. Для аварий, произошедших в торфах, по сравнению с другими грунтами, характерны более выраженные летние максимумы, что можно объяснить большим процентом коррозионной аварийности. В fg и g отложениях схожая ситуация: довольно равномерно распределены летние и зимние максимумы, а на конец 2007 года – начало 2008 приходится значительный всплеск, произошедший вследствие включения аварий по причине просадок дорожного полотна, максимум которых как раз приходится на данный период.



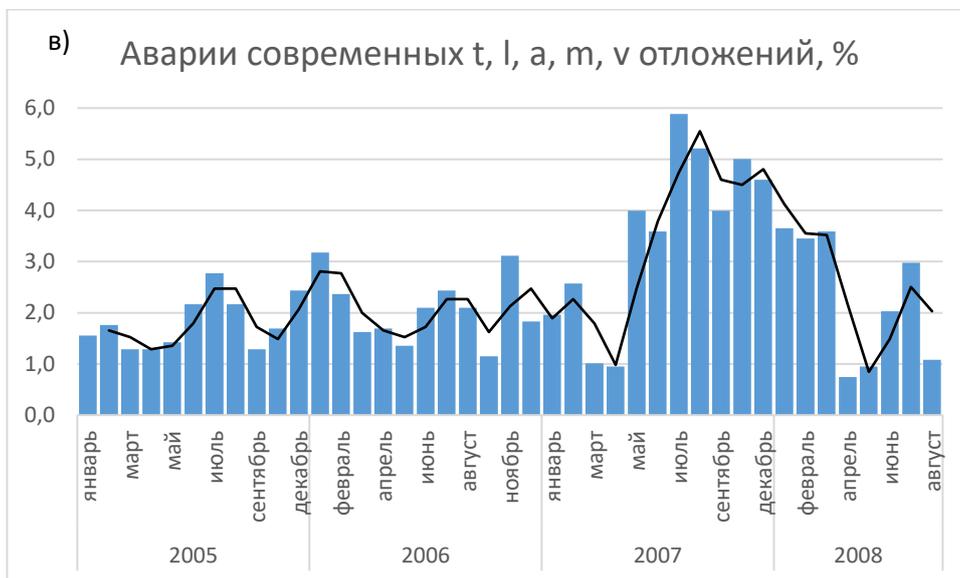
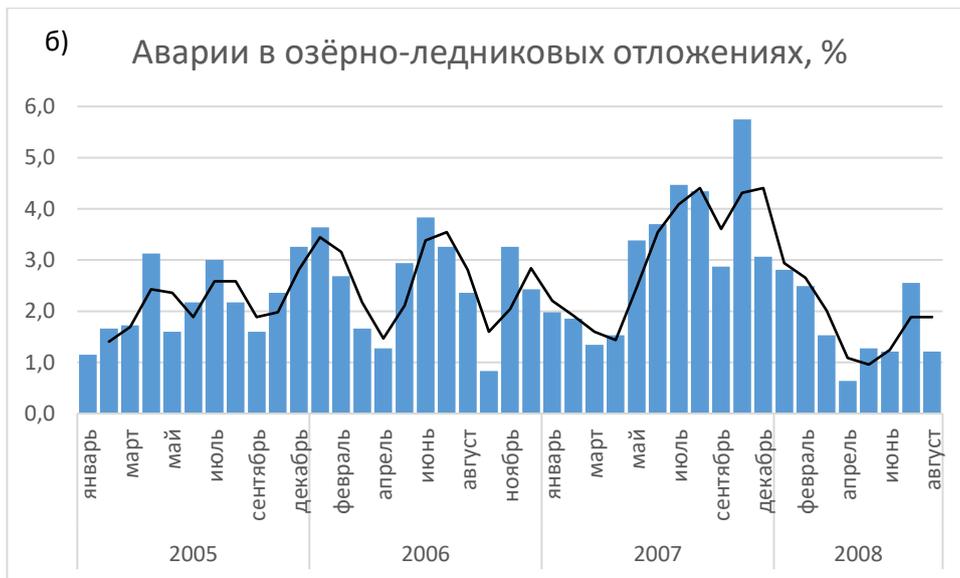


Рисунок 31. Временное распределение аварийности: а) – в b отложениях; б) – в lg отложениях; в) – в t, l, a, m, v отложениях

Временная картина механической (рисунок 32) и коррозионной аварийности (рисунок 33) по типам генетических отложений соотносятся с распределениями механической (рисунок 15) и коррозионной аварийности (рисунок 14) в целом.

Рассматривая и сравнивая линии тренда (представляющая собой скользящее среднее за два периода) для механических аварий, можно отметить, что в биогенных грунтах она более сглаженная; и возрастающая, и убывающая части относительно симметричны друг другу. А распределение в оставшихся двух грунтах имеет крутой подъём к максимальным значениям и пологий постепенный скат. При анализе коррозионной аварийности можно отметить, что в отложениях b и lg ярко выражены летние максимумы 2006 года, а в отложениях lg и t, l, a, m, v летний максимум сглажен.



Рисунок 32. Временное распределение механических аварий: а) – в b отложениях; б) – в lg отложениях; в) – в t, l, a, m, v отложениях



Рисунок 33. Временное распределение коррозионных аварий: а) – в b отложениях; б) – в lg отложениях; в) – в t, l, a, m, v отложениях

Вышеописанные способы построения графиков (включающие как годовые, так и месячные данные) были применены также к аварийности на ледниковых (g) и водно-ледниковых (fg) отложениях. Однако в связи с малым количеством материала, выявление годовых ритмов не представляется возможным. Поэтому было принято решение рассмотреть распределение аварий по месяцам (рисунок 34). Оба графика имеют ярко выраженные летние максимумы, особенно в ледниковых отложениях, что можно объяснить большим количеством коррозионных аварий. Помимо того, для аварий, произошедших в ледниковых отложениях характерен зимний максимум.

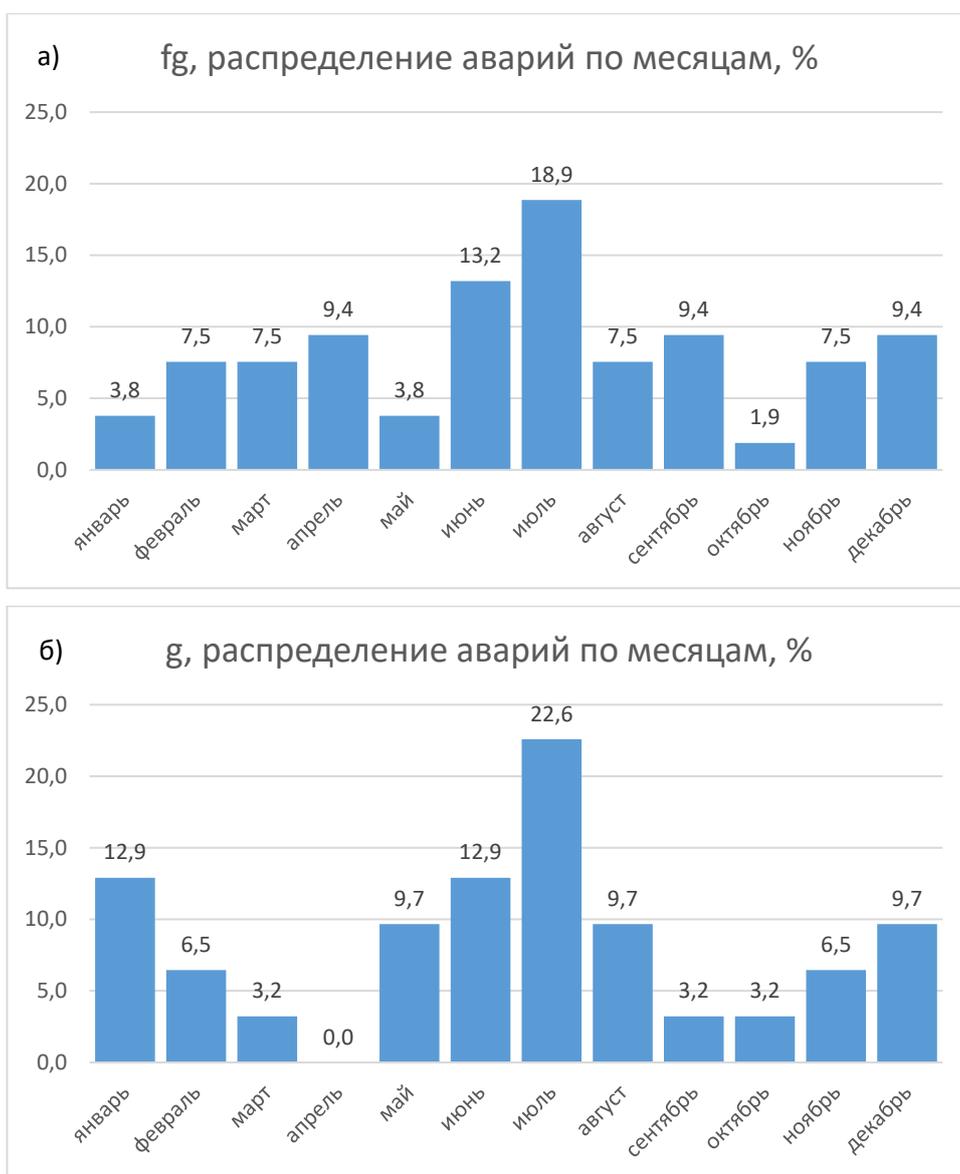


Рисунок 34. Распределение аварийности по месяцам: а) – для флювиогляциальных отложений; б) – для гляциальных отложений

## 5.5. Схематические карты степеней опасности

На основе данных аварийности по видам грунтов с учётом нормировки были построены схематические карты степеней опасности в программе ArcMap 10.8. Несмотря на то, что основной массив данных аварийности по местоположению расположен в правобережной зоне Невы, было принято решение о построении карт риска на всей территории города, потому что в северной и северо-восточных частях Санкт-Петербурга (где были зафиксированы аварии) представлены все типы грунтов.

Построение схематических карт осуществлялось на основе данных расчётов, полученных после нормировки аварий по плотности распределения коммуникаций. Было выделено пять степеней опасности:

- весьма низкая;
- низкая;
- средняя;
- высокая;
- весьма высокая.

Количество градаций соответствует количеству выделенных на карте типов грунтов, а именно: пески мелкие и пылеватые; пески средние, крупные и гравелистые; супеси; суглинки и глины; торф.

Была построена серия схематических карт:

- 1) общая схематическая карта степеней опасности (приложение Б),
- 2) схематическая карта степеней опасности механических аварий (рисунок 35),
- 3) схематическая карта степеней опасности коррозионных аварий (рисунок 36),
- 4) схематическая карта степеней опасности аварий по причинам просадок (приложение В).

1) Общая схематическая карта степеней опасности представляет собой нормированные данные, включающие все причины аварийности. Весьма высокая степень риска характерна для торфов; высокая – для суглинков и глин; средняя – для супесей; низкая – для средних, крупных и гравелистых песков; весьма низкая степень – для мелких и пылеватых песков (приложение Б).

Схематическая карта степеней опасности  
механических аварий  
Масштаб 1:750 000

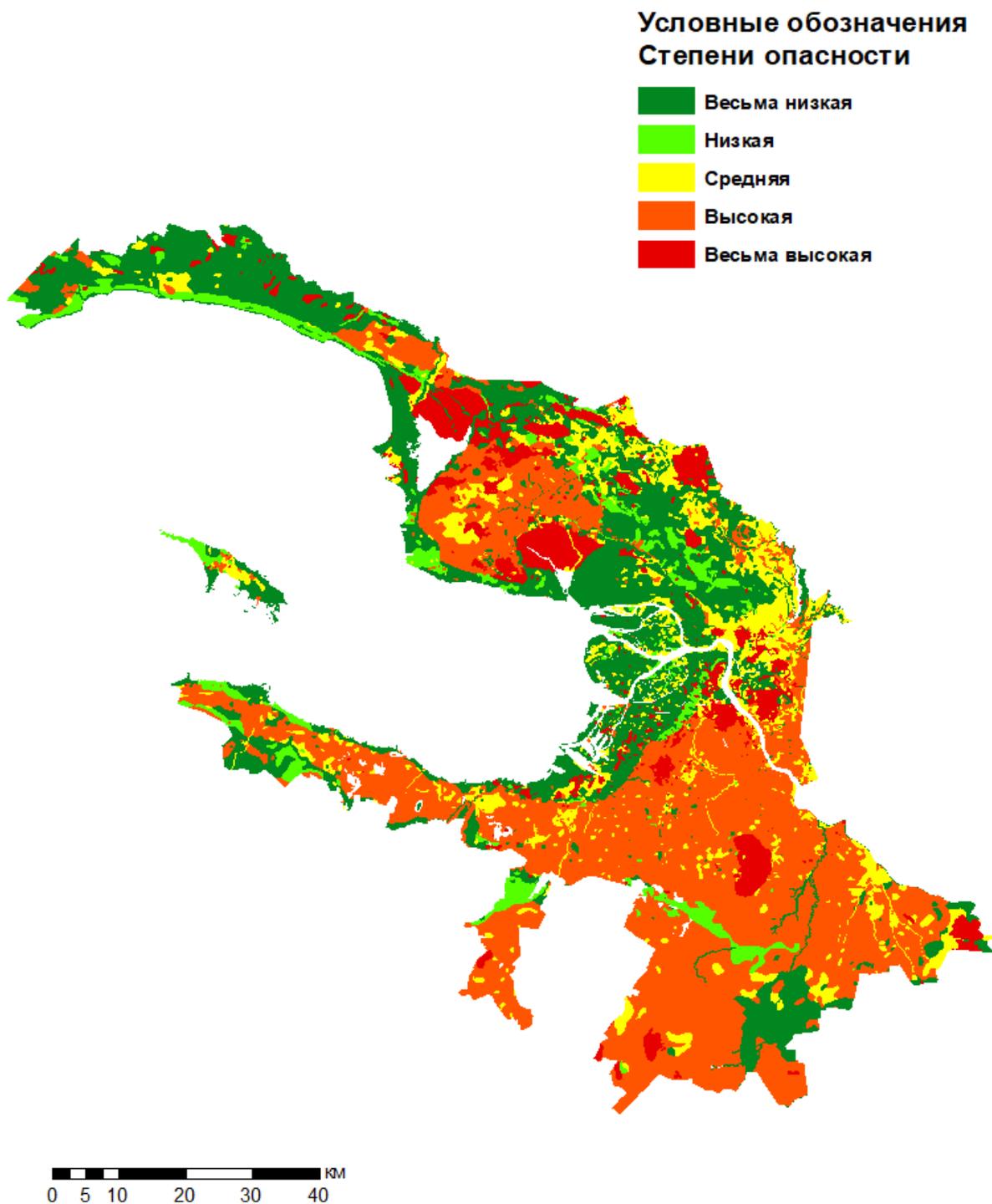


Рисунок 35. Схематическая карта степеней опасности механических аварий

2) Схематическая карта степеней опасности механических аварий имеет то же распределение опасности, что и общая схема. Это можно объяснить тем, что основная причина исследуемых аварий (66%) – механические повреждения (рисунок 35). Однако стоит отметить, что при рассмотрении удельной аварийности водопроводов и канализаций по отдельности, для механической аварийности водопроводов весьма высокая степень опасности приходится на суглинки и глины, тогда как для механической аварийности канализаций самые высокие риски характерны для биогенных отложений (торфов).

3) Схематическая карта степеней опасности коррозионных аварий отличается от карты механических аварий по распределению низкой и весьма низкой степеней опасности, т.е. низкая степень опасности присуща мелким и пылеватым пескам, а весьма низкая степень – средним, крупным и гравелистым пескам (рисунок 36). Кроме того, биогенные отложения имеют абсолютное преобладание в плане опасности над суглинками и глинами, в то время как для механических аварий удельные показатели аварийности этих двух видов грунтов почти равны.

4) Схематическая карта степеней опасности аварий по причинам просадок дорожного покрытия имеет инверсионный характер: весьма высокая степень риска характерна для супесей; высокая – для средних, крупных и гравелистых песков; средняя – для мелких и пылеватых песков; низкая – для суглинков и глин; весьма низкая степень – для торфов (приложение В). Предположительно, это можно объяснить другой природой аварий. Стоит отметить, что все значения удельной аварийности по данной причине близки между собой.

Данные карты могут быть применимы при планировании строительных объектов; кроме того, необходимо уделять внимание опасным площадям для принятия проектных решений, а также для максимально безопасной и рациональной эксплуатации уже построенных зданий и сооружений.

Схематическая карта степеней опасности  
коррозионных аварий  
Масштаб 1:750 000

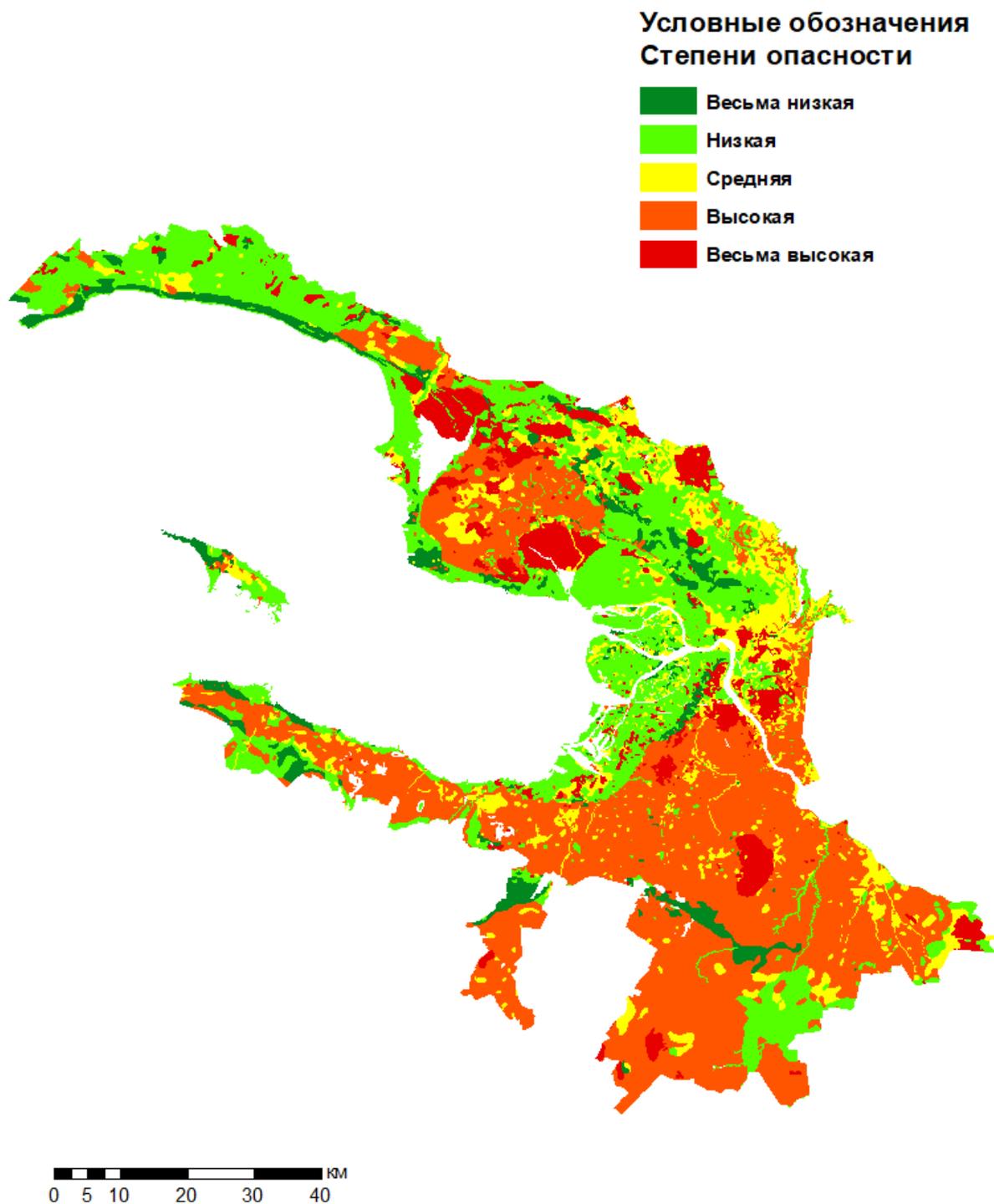


Рисунок 36. Схематическая карта степеней опасности коррозионных аварий

## Заключение

По окончании работы, совершено установление пространственной, временной и геологической корреляций коррозионной и механической аварийности трубопроводов в системе грунт-сооружение, а также выполнены все поставленные задачи, в том числе расчёт нормировочных коэффициентов и построение схематических карт степеней опасности.

Создана база данных в формате ArcGIS, включающая данные о 5 488 авариях, произошедших по разным причинам на инженерных сетях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», за интервал 2005-2008 гг., сведения об административном устройстве, городской инфраструктуре и четвертичных отложениях города Санкт-Петербург.

Подтверждена и проанализирована неоднородность пространственного и временного распределения аварий сетей водоснабжения и водоотведения, выявлены её закономерности, дана количественная оценка аварийности по изучаемой территории (которая основана на эмпирических данных).

Разработана методика приведения количества аварий к одному уровню, независимо от распространённости геологических элементов с помощью нормировки.

Подводя итоги, были сделаны следующие выводы:

- Основной массив изучаемой аварийности (более 66%) приходится на механические повреждения, 21% – на коррозионные, 13% – на просадки дорожных покрытий.
- Временное распределение аварийности имеет выраженную сезонность: для механической аварийности характерны зимние максимумы, для коррозионной – летние.
- С точки зрения приуроченности аварий к генетическим типам грунтов, основной объём приходится на озёрно-ледниковые (lg) и голоценовые современные техногенные, биогенные, озерные, аллювиальные, морские, эоловые отложения (t, l, a, m, v) – 44,9 % и 43,8 % соответственно; 9,8 % аварийности составляют биогенные (b) отложения.
- По литологическому составу, преимущественное количество всех типов аварий зафиксировано в песчаных мелкозернистых и пылеватых грунтах (около 49% всех аварий). Второй по распространённости аварий группой грунтов являются супеси (около 25% всех аварий). Это можно объяснить их повсеместным распространением в качестве основания.
- Количественное соотношение данных по авариям без учета нормировки искажено влиянием различной распространённости грунтов на исследуемом участке.

Поэтому требуется приведение геологических данных к единому масштабу, для чего было рассчитано количество зданий в пределах каждой группы грунтов, и принят поправочный весовой коэффициент. При переходе к нормированным данным вводим размерность – условные единицы (у.е.), выражающую количество аварий каждого типа, приведенное в соответствие с плотностью коммуникаций в каждой группе грунтов и распространенностью грунтов на исследуемом участке.

– Самая ярко выраженная закономерность – значительное увеличение доли коррозионных аварий для глинистых и в особенности биогенных грунтов. С увеличением размера частиц грунта наблюдается рост доли механических аварий канализационных сетей и просадок дорожного покрытия.

– Распределение механических аварии водопроводов позволяет сделать вывод о преимущественном их проявлении в суглинках (39%). Несколько ниже доля механических аварий в супесях, а также в торфах (около 35%).

– Механические аварии канализационных сетей и просадки дорожного покрытия показывают незначительную зависимость от групп грунтов.

– Временная картина механической и коррозионной аварийности по типам генетических отложений соотносится с распределениями механической и коррозионной аварийности в целом.

– При построении схематических карт степеней опасности (общей, механической и коррозионной аварийностей) грунтами с высокой степенью риска признаны торфы и суглинки с глинами; грунтами со средней степенью риска – супеси; грунтами с низкой степенью риска – различные пески.

– Схематическая карта степеней опасности просадок дорожного покрытия носит обратный характер, относительно описанных выше.

– Для получения более точных показателей аварийности, нужно вводить в GIS сами сети водоснабжения и водоотведения и рассчитывать нормировку не по площади, а по длине; это было бы сложнее (т.к. пришлось бы анализировать распределение более 15,5 тыс. км со всеми границами переходов четвертичных отложений), но объективнее.

Практическое значение.

Выявленные зависимости, реализованные в схематических картах, позволяют:

- повысить эффективность инженерно-геологических изысканий при проектировании новых сооружений привлечением максимального комплекса исследований (возможно совершенствование нормативной базы),

- повысить эффективность эксплуатации инженерных сетей планированием усиленного мониторинга, увеличением обслуживающего штата, выделением дополнительного оборудования на территориях, характеризующихся высокой и весьма высокой степенью опасности.

## Список использованных источников

### *Нормативно-правовые акты и иные официальные документы*

1. ГОСТ 19200-80 «ОТЛИВКИ ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ. Термины и определения дефектов»
2. ГОСТ 25100-2020 «ГРУНТЫ. Классификация»
3. ГОСТ 8020-2016 «КОНСТРУКЦИИ БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ДЛЯ КОЛОДЦЕВ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ, ВОДОПРОВОДНЫХ И ГАЗОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ. Технические условия»
4. ГОСТ 9.602-2016 «Единая система защиты от коррозии и старения. СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫЕ. Общие требования к защите от коррозии»
5. ГОСТ ISO 2531-2012 «ТРУБЫ, ФИТИНГИ, АРМАТУРА И ИХ СОЕДИНЕНИЯ ИЗ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ДЛЯ ВОДО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ. Технические условия»
6. СП 18.13330.2019 «Производственные объекты. ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА (Генеральные планы промышленных предприятий)»
7. СП 23.13330.2018 «ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»
8. СП 31.13330.2012 «ВОДОСНАБЖЕНИЕ. НАРУЖНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ»
9. СП 32.13330.2018 «КАНАЛИЗАЦИЯ. НАРУЖНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ»
10. СП 42.13330.2016 «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. Планировка и застройка городских и сельских поселений»
11. РМД 40-20-2016 Санкт-Петербург «УСТРОЙСТВО СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ»
12. ТСН 50-302-2004 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ»

### *Книги и монографии*

13. Галеев А. Д. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах: учебное пособие / А. Д. Галеев, С. И. Поникаров; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.
14. Ходжаева Г.К. Оценка риска аварийности нефтепроводных систем в аспекте геодинамических процессов: Монография. — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2016. — 132 с.

15. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы/Д.С. Конюхов. Учебное пособие для вузов. — М.: Архитектура-С, 2005. — 304 с.
16. Геологический Атлас Санкт-Петербурга под ред. Н.Б. Филлипова [2009]. Комильфо, Санкт-Петербург, 2009 г., 57 стр., УДК: 551, ISBN: 978-5-91339-080-6
17. Zheng, Gang and Yu Diao. "Environmental impact of ground deformation caused by underground construction in China." Japanese Geotechnical Society Special Publication 2 (2016): 10-24.
18. Sato, Mari and Reiko Kuwano. "Influence of location of subsurface structures on development of underground cavities induced by internal erosion." Soils and Foundations 55 (2015): 829-840.
19. Wang, Yan et al. "A Dynamic Risk Assessment Method for Deep-Buried Tunnels Based on a Bayesian Network." Geofluids 2020 (2020): 1-14.

*Статьи*

20. Волынин А.Ф. [2011] Результаты мониторинговых геофизических и гидрогеологических исследований грунтов с целью выявления причин характера изменения аварийности на водопроводных сетях Водоканала Санкт-Петербурга. Conference Proceedings, 7th EAGE International Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics, Apr 2011, cp-236-00054.
21. Волынин А.Ф., Татарский А.Ю. [2020] Мониторинг природных процессов - ключ к пониманию причин аварийности подземных сооружений. Source: Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2020, Sep 2020, Volume 2020, p.1 – 11, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202051049>.
22. Волынин А.Ф., Татарский А.Ю. [2021] Выявление зависимости аварийности подземных сооружений от природных факторов на основе мониторинговых исследований. Геориск, Том XV, №2/2021, стр. 60-69, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2021-15-2-60-68>.
23. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. «Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга» // Развитие городов и геотехническое строительство", 2011.
24. Исаченко Г.А., Резников А.И. [2014] Ландшафты Санкт-Петербурга: эволюция, динамика, разнообразие. Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», 2014, т. 6, № 3, стр. 231-249
25. Лебедев М.О., Романевич К.В., Басов А.Д. [2018] Оценка взаимного влияния подземных сооружений метрополитена при строительстве и эксплуатации. Геотехника, Том X, № 1-2, с. 82-92.

*Диссертации и авторефераты*

26. Аскаров Г. Р. Оценка влияния нестабильного температурного режима на коррозионное состояние газопроводов большого диаметра: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.19/ Г. Р. Аскаров. – Уфа, 2014. — 24 с.
27. Голубин С. И. Повышение эксплуатационной надежности магистральных газопроводов в криолитозоне с применением технологии и технических средств термостабилизации грунтов: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.19/ С. И. Голубин. – Москва, 2013. — 24 с.
28. Карпова Я. А. Инженерно-геологическое обеспечение наземного и подземного строительства в условиях активного техногенеза компонентов подземного пространства Приморского района Санкт-Петербурга: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.08/ Я. А. Карпова. – СПб., 2014 г., 271 с.

*Интернет-ресурсы:*

29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<https://gidpotrubam.ru/vodoprovod/glubina-prokladki-vodoprovoda>

## Приложения

Приложение А. Таблица расчётов зависимостей с нормировкой

Причины	механические водопроводов		коррозионные водопроводов		механические канализации		просадки дорожного покрытия		Расчёты
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	
<b>Типы грунтов</b>									<b>ИСХОДНЫЕ</b>
Пески мелкие и пылеватые	951	48,3	487	41,8	861	52,2	367	53,6	
Пески средние, крупные и гравелистые	96	4,9	35	3,0	97	5,9	40	5,8	
Супеси	490	24,9	272	23,3	410	24,8	186	27,2	
Суглинки и глины	252	12,8	182	15,6	156	9,5	54	7,9	
Торф	180	9,1	190	16,3	126	7,6	38	5,5	
	<b>mechanical</b>		<b>corrosion</b>		<b>sewerage</b>		<b>subsidence</b>		Просто плотности коммуникаций
Пески мелкие и пылеватые	72,6	43,4	40,6	34,6	50,9	46,8	24,4	44,3	
Пески средние, крупные и гр	6,7	4,0	3,1	2,6	6,7	6,2	2,9	5,3	
Супеси	44,5	26,6	25,0	21,4	29,4	27,0	16,6	30,1	
Суглинки и глины	24,4	14,6	20,4	17,4	12,4	11,4	7,1	12,8	
Торф	19,3	11,5	28,2	24,1	9,4	8,7	4,1	7,4	
	<b>mechanical</b>		<b>corrosion</b>		<b>sewerage</b>		<b>subsidence</b>		Плотность коммуникаций + коэф площади
Пески мелкие и пылеватые	8,1	17,0	4,5	11,8	5,7	18,6	2,7	17,8	
Пески средние, крупные и гр	6,7	14,0	3,1	8,0	6,7	22,0	2,9	19,1	
Супеси	10,4	21,8	5,8	15,3	6,8	22,5	3,9	25,3	
Суглинки и глины	13,0	27,3	10,8	28,5	6,6	21,6	3,8	24,6	
Торф	9,5	19,9	13,9	36,4	4,6	15,3	2,0	13,1	
	<b>mechanical</b>		<b>corrosion</b>		<b>sewerage</b>		<b>subsidence</b>		Плотность коммуникаций + коэф площади + количество домов на геологии
Пески мелкие и пылеватые	0,8	3,0	0,4	1,9	0,5	3,2	0,3	3,2	
Пески средние, крупные и гр	6,7	26,3	3,1	13,5	6,7	40,4	2,9	36,6	
Супеси	2,4	9,6	1,4	6,0	1,6	9,7	0,9	11,4	
Суглинки и глины	7,7	30,5	6,5	28,5	3,9	23,7	2,2	28,2	
Торф	7,8	30,7	11,4	50,1	3,8	23,0	1,6	20,6	

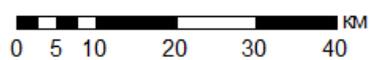
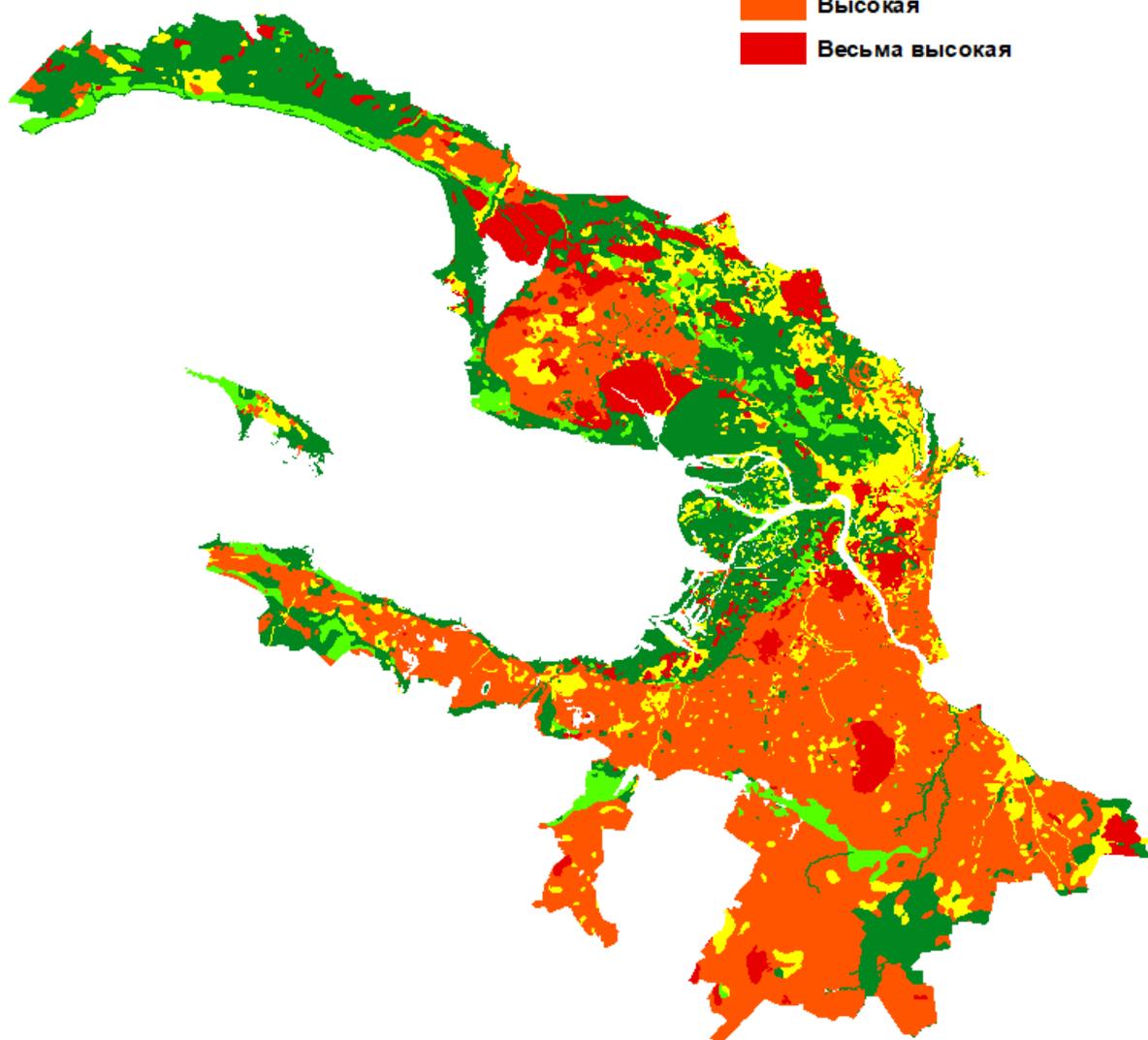
Приложение А. Таблица расчётов зависимостей с нормировкой. Продолжение

Причины	механические водопроводов		коррозионные водопроводов		механические канализации		просадки дорожного покрытия		Расчёты
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	
Типы грунтов	mechanical		corrosion		sewerage		subsidence		Плотность коммуникаций + количество домов на геологии
Пески мелкие и пылеватые	6,8	12,5	3,8	7,9	4,8	14,2	2,3	13,7	
Пески средние, крупные и гр	6,7	12,3	3,1	6,4	6,7	20,0	2,9	17,5	
Супеси	10,5	19,3	5,9	12,2	6,9	20,6	3,9	23,4	
Суглинки и глины	14,6	26,8	12,2	25,3	7,4	22,1	4,2	25,3	
Торф	15,8	29,2	23,2	48,2	7,8	23,2	3,3	20,1	
	механические водопроводов		коррозионные водопроводов		механические канализации		просадки дорожного покрытия		С учетом количества зданий в пределах группы грунтов
Пески мелкие и пылеватые	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	
Пески средние, крупные и гравелистые	96,0	35,8	35,0	13,1	97,0	36,2	40,0	14,9	
Супеси	115,3	36,1	64,0	20,0	96,5	30,2	43,8	13,7	
Суглинки и глины	150,6	39,1	108,8	28,3	93,2	24,2	32,3	8,4	
Торф	148,0	33,7	156,3	35,6	103,6	23,6	31,3	7,1	
	mechanical		corrosion		sewerage		subsidence		количество домов на геологии + коэф площади
Пески мелкие и пылеватые	9,9	3,5	5,1	2,7	8,9	3,9	3,8	4,4	
Пески средние, крупные и гр	96,0	33,6	35,0	18,5	97,0	42,4	40,0	46,2	
Супеси	26,9	9,4	14,9	7,9	22,5	9,8	10,2	11,8	
Суглинки и глины	80,1	28,0	57,8	30,5	49,6	21,7	17,2	19,8	
Торф	72,7	25,5	76,8	40,5	50,9	22,2	15,4	17,8	

## Схематическая карта степеней опасности Масштаб 1:750 000

### Условные обозначения Степени опасности

- Весьма низкая
- Низкая
- Средняя
- Высокая
- Весьма высокая



## Схематическая карта степеней опасности аварий по причинам просадок Масштаб 1:750 000

### Условные обозначения Степени опасности

- Весьма низкая
- Низкая
- Средняя
- Высокая
- Весьма высокая

