

Санкт-петербургский государственный университет

Хэ Инцяо

Выпускная квалификационная работа

**Мониторинг гумусового состояния и биологических свойств
городских почв Санкт-Петербурга**

Уровень образования магистратура
Направление 06.04.02 «Почвоведение»
Основная образовательная программа ВМ.5522
«Почвоведение»

Научный руководитель:
ст. преп. каф. агрохимии СПбГУ канд. с-х. наук
ОРЛОВА Елена Евгеньевна

Рецензент:
к.б.н. ГНУ.ВНИИ сельхозмикробиологии.
Старший научный сотрудник
Г.А. Ахтемова

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	- 1 -
1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ	- 3 -
1.1. Почвообразование в мегаполисах	- 3 -
1.1.1 Условия формирования и классификация городских почв ..	- 6 -
1.1.2 Типы загрязнений и их источники в городских почвах	- 12 -
1.1.3 Биологическая активность почв	- 13 -
1.2 Экологические условия на территории Санкт-Петербурга	- 14 -
1.2.1 География, геоморфология и геологические особенности Санкт-Петербурга	- 15 -
1.2.2 Климатические условия СПб	- 16 -
1.2.3 Растительность и биология Санкт-Петербурга	- 16 -
1.2.4 Проблемы окружающей среды и загрязнения (влияние человеческой деятельности)	- 17 -
1.2.5 Почвенный покров СПб	- 21 -
1.2.6 Основная информация о Кировском районе	- 23 -
1.3. Экологический мониторинг городских почв	- 23 -
1.3.1. Мониторинг почв	- 24 -
1.3.2 Мониторинг почв городских территорий	- 26 -
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	- 29 -
2.1. Объекты исследования	- 29 -
2.1.1. Проспект Стачек – крупная транспортная магистраль	- 29 -
2.1.2. Место отбора проб	- 30 -
2.2. Методы исследования	- 36 -
3. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРОСПЕКТА СТАЧЕК - 38 -	
3.1. Физико-химическая характеристика почв проспекта Стачек	- 38 -
3.2. Результаты агрохимического анализа почв	- 43 -
3.3. Оценка гумусового состояния почв проспекта Стачек	- 44 -
3.4. Оценка уровня загрязнения почв проспекта Стачек тяжелыми металлами	- 50 -
3.5. Результаты определения токсичности почв	- 53 -
3.6. Исследование типов растительности и растительного покрова на почвах проспекта Стачек	- 58 -

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	- 61 -
Приложение	- 70 -
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	- 82 -

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация – это постепенная трансформация страны или региона из традиционного сельского общества с центром в сельском хозяйстве в современное городское общество с преобладанием промышленности (вторичной) и сферы услуг (третичной), обусловленная социальной производительностью, научно-техническим прогрессом и реструктуризацией промышленности^[1]. По расчетам экспертов ООН, при сохранении темпов урбанизации к 2050 году в городах будет проживать 70% населения планеты^[2]. Урбанизация охватывает различные аспекты жизни людей и имеет множество локальных и глобальных негативных последствий.

В мегаполисах в результате деятельности человека экологическое состояние ухудшается, загрязнение окружающей среды растет, уменьшается и деградирует окружающее их зеленое пространство. Санкт-Петербург с населением около 7 млн. человек является вторым по величине городом в РФ. Кировский район расположен в юго-западной части Санкт-Петербурга. Население этого района составляет около 335 тысяч человек, из них 33% пенсионеров и 15% детей и подростков, то есть почти половина всего населения. Для этой группы профилактика и управление потенциальными рисками для здоровья являются особенно важными. Кировский район, наряду с Невским, Выборгским, Калининским и Красногвардейским, является наиболее загрязненным районом Санкт-Петербурга и, в целом, по качеству жизни занимает лишь 14-е место среди 18 районов Санкт-Петербурга^{[3][4][5]}.

Городские почвы постоянно влияют на окружающую среду и условия жизни городского населения. Почва является не только основным компонентом городских экосистем, обеспечивающим основу для озеленения городов, но и местом поглощения, накопления и осаждения различных загрязняющих веществ^[6]. В пределах допустимого диапазона городские экосистемы можно постоянно оптимизировать и улучшать, но за пределами допустимого диапазона могут возникнуть неустраняемые негативные последствия.

Вышеперечисленные факторы обуславливают необходимость проведения в Кировском районе постоянного экологического мониторинга и оценки экологического состояния почв. Это делает наше исследование актуальным и важным для практического применения.

Целью данного исследования является **эколого-биологическая оценка городских почв в Кировском районе Санкт-Петербурга в рамках многолетнего экологического мониторинга.**

В связи с поставленной целью в ходе работы решались следующие **задачи**:

1. Изучить физико-химических характеристики городских почв;
2. Определить степень их загрязнения тяжелыми металлами (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn);
3. Изучить биологическую активность и фитотоксичность городских почв;
4. Исследовать фракционно-групповой состав гумуса почв;
5. Выявить характер изменения экологического состояния исследуемых почв по сравнению с данными, полученными в ходе предыдущих обследований территории.

Исследование проводилось на почвах газонов вдоль проспекта Стачек, а также на почвах прилегающих к нему скверов и парка. Образцы почв были отобраны в июне-июле 2023 года с 11 участков, являющихся объектами многолетнего экологического мониторинга начатого сотрудниками СПбНИЦЭБ РАН в 1993 год и продолженного в дальнейшем сотрудниками и учащимися СПбГУ.

Дипломная работа выполнена на кафедре агрохимии Санкт-Петербургского государственного университета в 2022-2024 гг.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю к.с.-х.н. Е.Е. Орловой, а также всему коллективу кафедры агрохимии.

1. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

1.1. Почвообразование в мегаполисах

Урбанизация – это явление глобализации, неизбежное в процессе непрерывного прогресса и развития человечества. Города переживают бурное развитие и расширение в результате быстрого роста населения, экономики и технологий, что является феноменом цивилизационного развития. В то же время в городах разных стран развитие этого явления характеризуется по-разному. В более широкой перспективе оно тесно связано с текущим состоянием экономики каждой страны, разработкой национальных стратегий и развитием промышленности.

Урбанизация – это не только естественный прирост населения, но и миграция из сельской местности в города, а также миграция из малых городов в крупные.

По данным Всероссийской переписи населения 2020 года, на 1 октября 2021 года в 172 из 1 117 городов России будет проживать более 100 000 человек. По данным Росстата, к 1 января 2023 года в 16 российских городах будет проживать более 1 млн человек, а в 36 – более 500 тыс. человек. Крупнейшими городами России являются Москва, Санкт-Петербург и Новосибирск³⁴⁵ Наиболее значимой частью процесса урбанизации является развитие крупных городов и мегаполисов. В контексте современного общества под мегаполисом понимается жилой район с населением более миллиона человек, проживающих на его территории.

Однако мегаполисы сталкиваются с огромным количеством проблем в плане управления и руководства. Большая численность населения и растущие земельные ресурсы привели к быстрому экономическому, социальному и промышленному развитию, в то же время, вызывая негативные последствия для городских экосистем, такие как загрязнение окружающей среды, парниковый эффект, медицинское и финансовое давление из-за проблем со здоровьем жителей.

Города можно рассматривать как многофункциональные сложные экосистемы, которые устанавливают хрупкий баланс между природой, наукой, технологиями и обществом, импортируя внешние ресурсы и экспортируя внутренние отходы. Согласно точке зрения В.В. Владимирова, в качестве сложной системы, «город можно представить в виде динамичного взаимодействующего сочетания двух субсистем - природной и антропогенной, которые, в свою очередь, подразделяются на ряд взаимодействующих подсистем»^[7].

Городская экосистема не похожа ни на одну другую экосистему в естественной среде:

это экосистема, созданная человеком, которая требует постоянного притока ресурсов извне (воды, питательных веществ, даже свежего воздуха) и постоянного потока отходов наружу. Как часть экосистемы, город не только обладает всеми составляющими ее элементами (например, продуценты, солнечный свет, воздух, вода, органические и неорганические вещества, редуценты), но и связывает эти элементы между собой посредством потоков энергии, материалов и информации. Наиболее фундаментальное отличие городских экосистем от природных заключается в решающем влиянии человеческой деятельности.

Как известно, почва имеет огромную регулирующую роль в экосистеме [8][9][10][11][12]. Почва оказывает значительное влияние на экологическую среду, от которой зависит жизнь человека. Растительность, произрастающая на почве, регулирует все аспекты этой экосистемы вместе с почвой (циркуляция и накопление питательных веществ, адсорбция и разложение загрязняющих веществ, важные носители круговорота воды и атмосферного цикла). Поэтому здоровье почвы напрямую влияет на экологический баланс всего города.

Ускоренная урбанизация мира в период с 1960 по 2000 год сделала изучение городских почв проблемой, которую было трудно игнорировать. . В 1963 г. Л.Т. Земляницкий в своей работе предположил классификации городских почв по их степени нарушения. Он подчеркнул важность и необходимость изучения городских почв в качестве объекта исследования и впервые использовал термин «городская почва» [13].

Дж. Бокгейм предложил определение термина "городская почва" еще в 1974 году, и на протяжении многих лет другие ученые продолжали его уточнять. Городские почвы – это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительно-бытового мусора.

Почвы в городских экосистемах, особенно в мегаполисах, во многом отличаются от других природных почв.

На взгляд В.В. Владимирова город приводит к изменению рельефа поверхности земли. «Изменение рельефа происходит при вертикальной планировке, застройке и благоустройстве территории. На городских территориях обычно идут два процесса - понижение или повышение отметок поверхности. Главный процесс связан со срезкой грунта, террасированием склонов, устройством выемок, опусканием и просадкой поверхности земли. Второй – с перемещением грунтов, складированием отвалов и твердых промышленных и бытовых отходов, гидронамывом грунтов, засыпкой оврагов, болот и. т. д.» [14].

Фактически, мегаполисы, в силу сложной истории их городского развития, демонстрируют значительную неоднородность почвенного покрова, в котором переплетаются погребенные слои истории и культуры разных эпох.

Соответственно, почвы мегаполисов характеризуются высоким разнообразием антропогенно-преобразованных почв с разными стадиями развития (слаборазвитые, среднеразвитые, и полноразвитые). Согласно точке зрения ряда ученых, в том числе Б.Ф. Апарина, Е.Ю. Сухачевой и др., у большинства почв города нет таких признаков строения и свойства, как у естественных почв. Городские почвы находятся в нестабильном состоянии – «...Почвенные процессы в профиле не скоординированы, а система минерально-энергетического обмена между горизонтами не сбалансирована; у большей части почв нет соответствия признаков факторам почвообразования»^[15].

В своих трудах Б.Ф. Апарин и Е.Ю. Сухачева подчеркивали, что в мегаполисе главным фактором почвообразования является деятельности человека, которая прямо и косвенно воздействует на почвы и почвенные процессы. Косвенное воздействие обусловлено модификациями факторов почвообразования (осадков, температуры, растительности, испарения). На урбанизированных территориях мегаполисов характерна высокая мозаичность полей почвообразования. Прямое воздействие состоит в конструировании почвенного профиля, подобного естественному¹¹.

Городские почвы имеют особую структуру и свойства и рассматриваются как особый вид биопленки.

Биопленка – это слой почвы, обладающий свойствами и функциями мембраны. Материальные потоки через биопленки формируются в результате поступления в почву: твердых, жидких, а также газообразных веществ, поступающих из атмосферы; Жидкие и газообразные вещества, содержащиеся в подземных водах; Вещества, образующиеся в результате биологического метаболизма и почвенных процессов. Для биопленок мегаполисов характерно сочетание двух и более слоев, в том числе внедрение гумусовых, торфяных или минеральных слоев, наслоение естественной или искусственной толщи [Апарин, Сухачева, 2013]^[16].

Стоит подчеркнуть, что почвообразующие породы мегаполиса отличаются гетерогенным составом и строением. В городских почвах содержится значительное количество артефактов различного состава, размера и объема¹¹.

Существует и другое мнение об изучении городских почв, которое заключается в том, что они представляют собой уникальное явление, основанное на некоторых специфических закономерностях^[17].

К числу загрязнителей, оказывающих значительное влияние на городские почвы в городских поселениях, относятся тяжелые металлы и их оксиды, соединения азота и фосфора, нефть и нефтепродукты, галогениды и полиароматические углеводороды.

Стоит отметить, что в городах растительность может испытывать более сильное давление на выживание, чем в дикой природе. Это требует дополнительной помощи со стороны человека, чтобы адаптировать их к жизни в городских экосистемах. Особенно в мегаполисах это давление может быть очень сильным:

1. загрязнение
2. уплотнение почвы
3. отсутствие поверхностного стока в его естественном состоянии
4. эффект городского острова тепла
5. хрупкие экологические цепи

Эти факторы ставят растительность, обитающую в городах, под еще большую угрозу выживания^[18].

Однако растительность очень важна для городской экосистемы, и от нее в равной степени зависит способность городской экосистемы к саморегуляции и очищению. И одним из важнейших вопросов озеленения городов является дефицит площади городского ландшафта и поддержание благоприятной среды для выживания растительности. Именно поэтому необходимо постоянно следить за состоянием почвы.

Мониторинговые исследования, которым посвящена данная работа, направлены не только на защиту растительности, но и на здоровье почвы, которая является важной частью городской экосистемы и влияет на остальные части экосистемы (газообмен, круговорот воды, круговорот веществ, живые организмы).

1.1.1 Условия формирования и классификация городских почв

Для изучения городских почв их необходимо систематически классифицировать, поскольку показатели для разных типов почв не совсем одинаковы. Согласно "Классификации городских почв в системе российской и международной классификации почв" Б.Ф. Апарина и Е.Ю. Сухачевой [Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе Российской и международной классификации почв // Бюл. Почв. ин-та. 2015. №79.]:

1. Типичные почвы (in situ) I-D: подстилающая минеральная толща не имеет признаков механического перемещения. Типичные интродуцированные почвы формируются в случае, когда интродуцированный горизонт насыпают на почвообразующую породу, сохранившуюся от разрушенной почвы.

2. Урбослоистые почвы I-RDur: отличаются хорошо выраженной слоистостью, часто с большой долей индустриальных включений (кирпичи, строительно-бытовой мусор, керамзит, гравий, артефакты и т.д.). Мощность подстилающей урбослоистой минеральной толщи может достигать нескольких метров, а подтипы таких почв характерны для территорий, где неоднократно проводились строительные работы.

3. Урбонасыпные почвы I-RD: подстилающая минеральная толща неоднородна по составу и сложению, часто содержит артефакты; нечеткая слоистость свидетельствуют о стратификации материала. Подобные подтипы формируются на месте строительства или ремонта различных подземных коммуникаций. Подстилающая минеральная толща в большинстве случаев имеет мощность не более 2 м и подстилается породой, имеющей естественное сложение.

4. Урбослоисто-гумусовые почвы I-RDur[h]: отличаются хорошо выраженной слоистостью, часто с включением погребенных интродуцированных гумусовых слоев. В Санкт-Петербурге серогумусовые урбослоисто-гумусовые подтипы выявлены в скверах и парках в центральной части города.

5. Водно-аккумулятивные почвы (намытые грунты) I-Daq: подстилающая минеральная толща однородна по составу и имеет тонкую слоистость. На прибрежных территориях г. Санкт-Петербурга среди почвообразующих пород намытые наносы преобладают. Как правило, они слоистые и напоминают аллювиальные отложения.

Причина разных мнений заключается в том, что городские почвы отличаются гораздо большим разнообразием и сложностью структур почвенного покрова и методов их диагностики по сравнению с естественными почвами. Среди них наиболее сложной и актуальной является ситуация с городскими почвами в мегаполисах. Это связано с тем, что современный город постоянно и непрерывно воздействует на внутренние почвы (транспорт, строительство, промышленность, утилизация отходов). Эти виды человеческой деятельности постоянно оказывают давление на почву, а поскольку они неравномерны, то в разных условиях почва развивается в разных направлениях. Поэтому даже в одном и том же городе, с одним и тем же материнскими породами, почвы могут изменяться в совершенно разных направлениях в зависимости от функциональной зоны, в которой они находятся.

Городские почвы подвергаются различным воздействиям, которые усугубляют последствия эрозии, уплотнения, потери горизонтов и плодородия. По данным одного из исследований, при строительстве новой дороги на каждый километр приходится 400-500 тонн почвы^[19]. Увеличение площади непроницаемой поверхности значительно ухудшило

условия, в которых происходит эрозия почвы. С одной стороны, интенсивность и частота наводнений на урбанизированных территориях из-за ограничения поверхности значительно возросли по сравнению с периодом до урбанизации, а увеличение стока и концентрация пиковых потоков увеличили эрозионную способность водных потоков. С другой стороны, резкие изменения в землепользовании, вызванные урбанизацией, и изменение климата также привели к усилению эрозии. Было обнаружено, что существуют значительные различия в инфильтрационной способности различных поверхностей для осадков: естественная почва (87,6%) > уплотненная почва (72,8%) > поверхность из бетонных блоков (33%) в порядке убывания прочности, в то время как инфильтрационная способность бетонных поверхностей была близка к нулю^[20].

Серьезная эрозия почвы возникает в основном на этапе крупномасштабного городского развития и строительства. Во время городского строительства большие площади оголенной земли и различные рыхлые скопления на внешних краях, образовавшиеся в результате перекапывания возвышенностей и засыпки низин, чрезвычайно уязвимы для эрозии^[21].

Географически город можно разделить на городские застроенные районы (центральная часть города), зоны пересечения городских и сельских территорий и сельские районы изнутри и снаружи. На Рис 1 показана различная степень влияния крупномасштабного городского строительства на эрозию почвы в этих трех географических зонах.



Рис 1. региональная дифференциация эрозии почв при строительстве крупных городов и поселков

Степень эрозии почвы изменяется следующим образом: граница между сельскими и городскими районами > застроенные городские районы > сельские районы. А эрозия

почвы – это одно из последствий воздействия человека на почву.

Конечно, помимо отрицательных эффектов урбанизации существуют и положительные. Как уже говорилось ранее, деятельность человека разнообразна, и люди в равной степени пытаются найти способы контроля и устранения негативного воздействия на почву, а также улучшения и оздоровления почв. За растительностью, посаженной человеком, люди будут хорошо ухаживать. Люди будут создавать парки, сады и водно-болотные ландшафты. Люди будут заселять почву дождевыми червями, а также различными микроорганизмами. В сельском хозяйстве за счет чередования культур, посадки таких культур, как соя, внесения нужного количества удобрений или орошения, почвы будут находиться в здоровом состоянии. Они могут быть в лучшем состоянии, чем естественные почвы, которые были целенаправленно улучшены человеком при окультуривании.

Поскольку городские почвы формируются в самых разных условиях, и независимо от того, являются ли эти причины экологическими (естественными) или антропогенными они способствуют тому, что городские почвы трудно поддаются классификации.

Наиболее проработанным вариантом классификации урбопочв представляется "Классификация и диагностика почв России"^[22] и Международная реферативная база данных^[23]. В основу классификации городских почв в данной работе положена широкая классификация и суждения по результатам эксперимента и диагностики объектов исследования.

В общую структуру классификации и диагностики почв России и международной реферативной базы данных входят следующие принципы классификации почв урбанизированных территорий^[24]:

- единство подходов к классификации всех экспонированных на поверхность твердофазных тел, образующих почвенный покров мегаполиса;
- признание, что объектами почвенной классификации урбанизированных территорий являются как естественные и антропогенно-преобразованные почвы, так и “сконструированные” человеком образования, которые имеют на поверхности привнесенный материал гумусового (или органогенного) горизонта;
- учет признаков, отражающих степень и глубину антропогенной трансформации почвенного профиля; деятельность человека как фактора почвообразования приводит либо к разрушению почв, либо к их погребению, смешиванию или перемещению материала почвенных горизонтов;
- учет не только последовательности горизонтов (слоев), но и наличие или отсутствие генетической связи между ними (резкий переход из одного слоя почвы в

последующий при отсутствии сопряженных признаков между смежными слоями – вынос и аккумуляция вещества);

– признание, что в условиях урбоэкосистем профилеобразующий процесс, протекающий под влиянием естественных факторов, часто сопровождается постоянным или периодическим поступлением материала на поверхность почвы; это вызывает рост почвенного профиля вверх и формирование слоистой толщи различной мощности и состава;

– признание, что для диагностики горизонтов в антропогенных почвах и определения классификационного положения этих почв на уровне типа в классификации и диагностики почв России и квалификаторов в международной реферативной базы данных так же, как для естественных и антропогенно-трансформированных, приоритетными являются признаки, унаследованные от естественных почв (Рис 2, Рис 3).

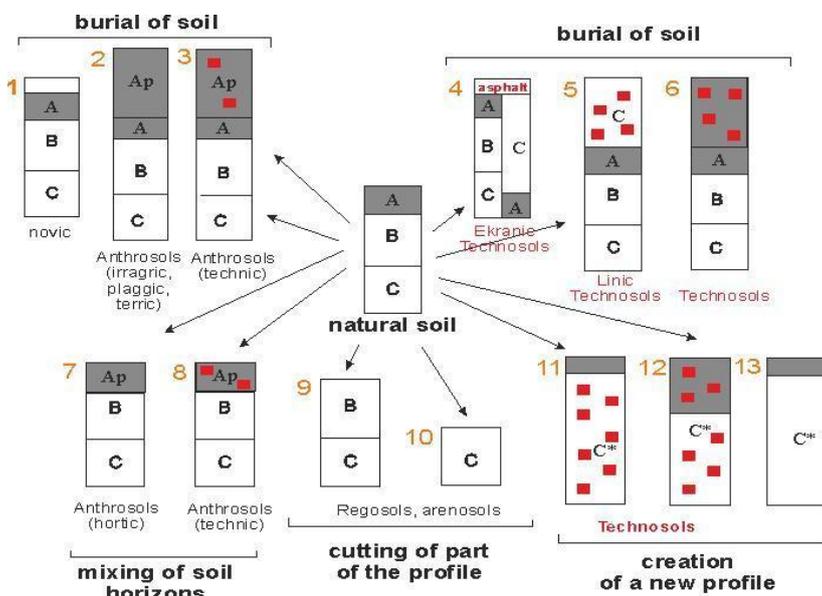


Рис 2. типы изменения почвенного профиля под воздействием человеческой деятельности в системе международной реферативной базы данных²⁴

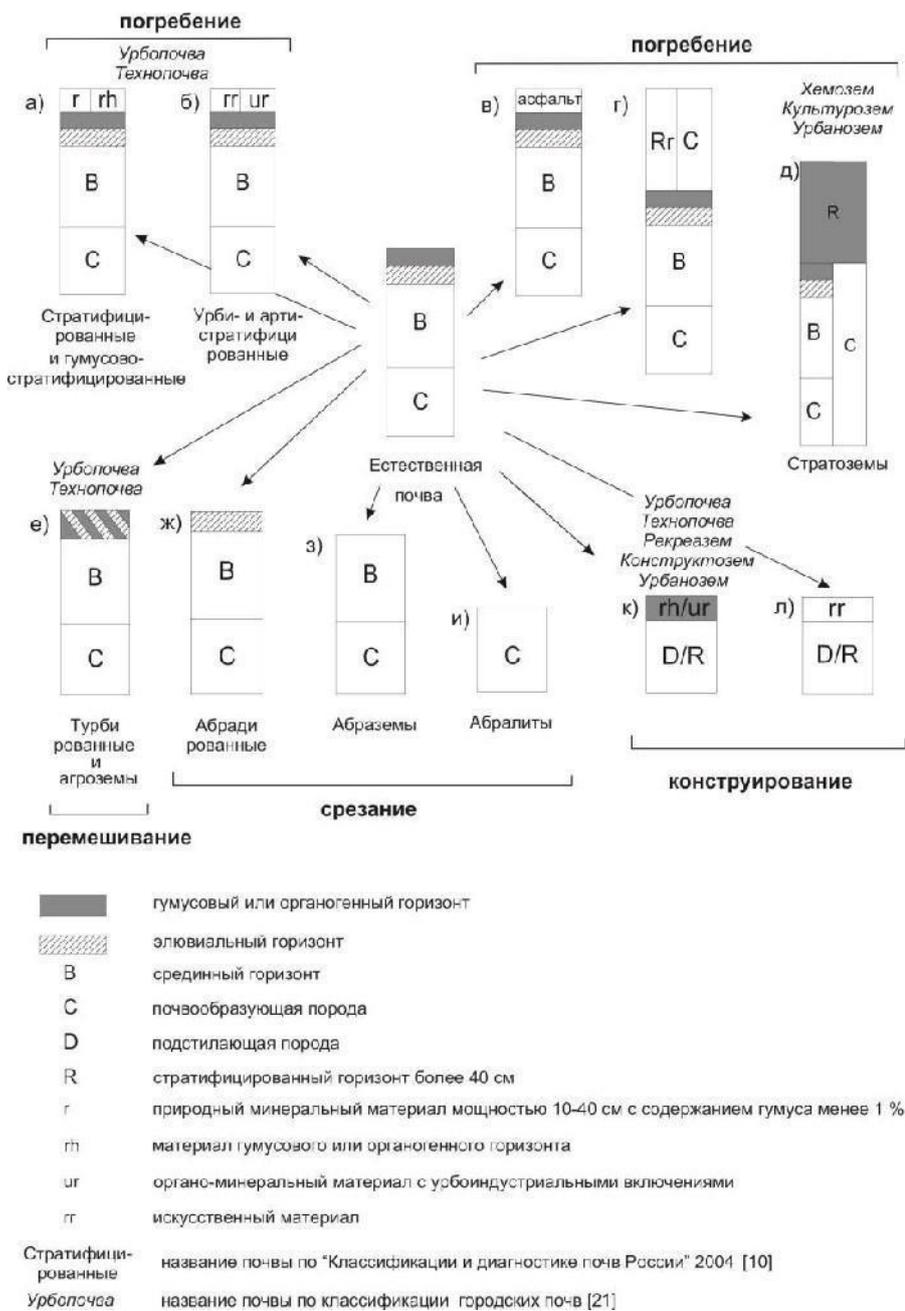


Рис 3 типы изменения почвенного профиля под воздействием человеческой деятельности в системе классификации и диагностики почв России²⁴

В системе классификации и диагностики почв России^[27] выделены 4 типа измененные естественные почвенные профили под влиянием человеческой деятельности:

- 1) погребение почв;
- 2) перемешивание горизонтов почвы;
- 3) срезание почвенных профилей;
- 4) конструирование нового почвенного профиля.

1.1.2 Типы загрязнений и их источники в городских почвах

Деятельность человека в городах носит интенсивный характер и создает высокоинтенсивные нагрузки на окружающую среду и почву. Эта нагрузка, если ее не контролировать и не снижать, ускоряет темпы загрязнения окружающей среды. С увеличением уровня загрязнения часть свойств почвы необратимо меняется. Это сказывается на рельефе, гидрологической сети, изменении климата, наносит серьезнейший ущерб растительности и почвенному покрову^{[25][26]}.

Тяжелые металлы особенно опасны, поскольку они способны накапливаться в почвенных слоях и не подвергаются биологическому разложению. Это приводит к долгосрочному загрязнению, которое может переходить в пищевые цепочки через растения и микроорганизмы, угрожая здоровью животных и, возможно, человека. Органические загрязнители также нарушают почвенные процессы, уменьшая активность почвенной микрофлоры, что снижает естественную способность почвы к самоочищению и восстановлению.

Загрязнение почвы не только снижает ее плодородие, но и приводит к утрате биоразнообразия, изменению микробиологического состава и физико-химических свойств почвы. Такие изменения могут иметь долгосрочные экологические последствия, включая ухудшение качества подземных вод, изменение режима стока поверхностных вод и увеличение риска пыльных бурь в городах^[27].

Воздействие загрязненных почв на здоровье человека может проявляться в форме хронических заболеваний, таких как рак, болезни почек и нервной системы, что делает вопросы мониторинга и рекультивации городских почв чрезвычайно важными для поддержания устойчивости городской среды и здоровья населения^[28]. Кроме того, загрязнение окружающей среды, особенно тяжелыми металлами, оказывает серьезное вредное воздействие на организм человека и другие живые организмы. Избыточные и чрезмерные уровни загрязняющих веществ попадают в городскую атмосферу через аэрозоли и атмосферный обмен в дыхательные пути и пищу человека. Это вызывает различные заболевания, в том числе рак^[29].

Проблемы, связанные с загрязнением почв, требуют активных управленческих решений. Необходимо проводить регулярный мониторинг состояния городских почв, разрабатывать и реализовывать стратегии их рекультивации и защиты. Ключевым аспектом является разработка эффективных мер по снижению выбросов загрязняющих веществ, в том числе через улучшение стандартов на промышленные и автомобильные выбросы, а также использование экологически чистых технологий в строительстве и градостроительстве.

1.1.3 Биологическая активность почв

Почва не только обеспечивает 95 процентов наших продуктов питания, но и спокойно обеспечивает почти все экосистемные услуги и функции, которые поддерживают жизнь на Земле. Почва – это тонкая поверхность земли, от которой люди зависят каждый день. Она также отвечает за очистку, фильтрацию и хранение пресной воды, переработку питательных веществ, регулирование климата и наводнений, удаление и депонирование углекислого газа и других газов из атмосферы, а также является домом для четверти видов животных на Земле. Почвы обладают тремя основными возможностями: буферной способностью, биоемкостью и устойчивостью. Они соответствуют трем функциям: производственной, экологической и эксплуатационной^[30]. Тот факт, что так много организмов нуждаются в почве как в среде обитания и средстве роста, заставил нас обратить внимание на активность почвы. Почвенные организмы – это в основном почвенные микроорганизмы и почвенная мезофауна.

Почвенные микроорганизмы – это общий термин для всех крошечных организмов в почве, невидимых невооруженным глазом или плохо различимых, к которым следует отнести бактерии, археи, грибы, актиномицеты, вирусы, простейшие и микроводоросли. Они осуществляют окисление, нитрификацию, аммонификацию, фиксацию азота, сульфатацию и другие процессы в почве, способствуют разложению органического вещества почвы и преобразованию питательных веществ^[31].

Поскольку почва имеет разнообразные условия для роста и развития микроорганизмов: питание, вода, воздух, рН, осмотическое давление, температура и другие условия, поэтому она становится хорошей средой для жизни различных микроорганизмов. Можно сказать, что почва – это не только "естественная среда" для микроорганизмов, но и их "базовый лагерь", а для человека – богатейшая база штаммовых ресурсов^[32].

Хотя существует множество типов почв, в которых содержание различных микроорганизмов сильно варьируется, но в целом, в каждом грамме почвы в культивационном слое соотношение содержания различных микроорганизмов составляет примерно 10-кратный ряд по закону убывания: бактерии > актиномицеты (споры) > плесени (споры) > дрожжи > водоросли > простейшие^[33].

Биологическая активность почвы – это ряд биологических и биохимических процессов, происходящих в почве. Эти процессы тесно связаны с количеством, типом и активностью почвенных организмов и растений. И, как правило, процесс потребления энергии организмами обычно сопровождается выделением углекислого газа, также известен как дыхание.

Дыхание почвы – важный экологический процесс в материальном цикле и потоке энергии наземных экосистем, основной путь возврата почвенного органического углерода в атмосферу в форме CO_2 . Это один из основных способов переноса углерода между наземными экосистемами и атмосферными экосистемами. Дыхание почвы – это ключевое звено в углеродном цикле наземных экосистем, которое играет важную роль в региональном и даже глобальном углеродном цикле. Ежегодная эмиссия CO_2 в результате дыхания почвы составляет около 80 Пг, что составляет 2/3 общего углеродного обмена между наземными экосистемами и атмосферными экосистемами и около 1/10 всего атмосферного углеродного пула. Это на 30-60% больше углерода, поглощаемого наземными экосистемами за счет их чистой первичной продуктивности, и намного больше 5 Пг углерода, ежегодно выбрасываемого в атмосферу за счет сжигания ископаемого топлива^[34].

Кроме того, дыхание почвы отражает интенсивность окислительных процессов, происходящих в почве с участием микроорганизмов, и позволяет определить состояние органического вещества почвы. Таким образом, измерение дыхания почвы является одним из очень важных результирующих показателей целого ряда биохимических активностей почвы.

1.2 Экологические условия на территории Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург – главный порт и культурный центр России, расположен на побережье Балтийского моря и является крупнейшим городом на северо-западе России и административным центром Федерации на северо-западе. Город был основан 27 мая 1703 года царем Петром I, и долгие годы являлся столицей Российской империи^[35].

В наши дни, когда темпы урбанизации продолжают расти, природная среда в Санкт-Петербурге и его окрестностях испытывает беспрецедентное давление. Расширение города привело к потере биологических мест обитания и сокращению биоразнообразия. Рост населения заставляет город потреблять все больше и больше природных ресурсов и выбрасывать все больше и больше загрязняющих веществ. В свою очередь, загрязняющие вещества, образующиеся в результате городской деятельности, угрожают качеству воздуха, почвы и водоемов. Экологические проблемы, порожденные этими факторами, угрожают всем живым организмам, находящимся в сфере их влияния.

Для решения этих экологических проблем в Санкт-Петербурге реализуется ряд природоохранных мероприятий, включая развитие общественного транспорта, зеленой инфраструктуры, а также проекты по перехвату и снижению загрязнений рек и озер, их очистке и уборке. Эти меры сыграли положительную роль в улучшении экологической

ситуации в городе^{[36][37]}.

Кроме того, на развитие экологической политики оказывают влияние климатические особенности Санкт-Петербурга. В регионе влажный умеренный климат с продолжительной холодной зимой и мягким летом. В этих климатических условиях были приняты особые меры экологической политики, такие как уборка снега зимой и меры по снижению эффекта теплового острова летом^{[38][39]}.

1.2.1 География, геоморфология и геологические особенности Санкт-Петербурга

Город — центр Санкт-Петербургской городской агломерации. Площадь города 1439 км², после расширения территории Москвы 1 июля 2012 года Санкт-Петербург является вторым по площади и населению городом страны., и расположен в пределах Приневской низменности, примыкая к Финскому заливу и восточной оконечности Невского залива, который разделен рекой Невой на множество островов, протянувшихся на 90 км с северо-запада на юго-восток. Высота над уровнем моря на территории города колеблется в пределах 0-176 м, а в городе – 1-22 м (*Петербург в цифрах*. <https://www.gov.spb.ru/>). Почти вся территория Санкт-Петербурга расположена на плоских, низменных равнинах с множеством старых морских террас. Рельеф Санкт-Петербурга очень пологий, с запада омывается Финским заливом, а с севера, юга и востока постепенно понижается по направлению к городу, представляя собой возвышенность во всех трех направлениях с понижением в центре. Юго-восточное направление – это направление истока Невы, поэтому рельеф там будет более низким по сравнению с другими направлениями^{[40][35]}.

В геологическом плане город расположен на стыке двух крупных тектонических образований – Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Метаморфические породы (граниты, гнейсы) Балтийской плиты залегают на глубине не более 200 метров. Сверху они покрыты осадочными слоями, в профиле которых выделяются две толщи: нижняя – кембрийские и вендские глины и песчаники, которые были уплотнены и почти обезвожены, и верхняя – песчаные глины четвертичного периода. Четвертичные отложения формировались в течение многих чередующихся ледниковых и межледниковых периодов, что привело к сложным геологическим и гидрогеологическим условиям на данной территории. Геология территории Санкт-Петербурга представлена в основном четвертичными отложениями, богатыми глиной, песком и гравием. Наличие этих осадочных слоев определяет основные физико-химические свойства почвы, такие как ее дренажные свойства и способность удерживать питательные вещества. Глинистые слои

эффективно удерживают воду и питательные вещества, но при этом могут приводить к плохому дренажу почвы, особенно в городских районах, что может усугубить риск наводнений. Это одна из причин, почему исторически Санкт-Петербург так часто затапливало^{[50][41]}.

В гидрологическом отношении Санкт-Петербург имеет богатую сеть рек и озер, занимающих около 7% общей площади города, 48 рек и каналов всех размеров и 42 острова. Река Нева, главная водная артерия Санкт-Петербурга, протекает с востока на запад и впадает в Финский залив⁴¹.

1.2.2 Климатические условия СПб

В Санкт-Петербурге мягкий климат, который относится к переходному от умеренно-континентального к умеренно-океаническому. Географическое положение и циркуляция атмосферы Ленинградской области, а также высокие широты, приводящие к недостатку поступления тепла на поверхность и в атмосферу, обуславливают переплетение двух климатов, которые в течение года преобладают попеременно. В то время как из-за циклонов в Балтийском море лето теплое, а зима не слишком холодная (на одной и той же широте)^[42]. Кроме того, высокие широты одновременно влияют на количество солнечных часов и колебания температуры, а также на то, что солнечная радиация здесь ниже, чем в более низких широтах. А температура – один из немногих факторов, оказывающих наибольшее влияние на почву. В течение года температура колеблется между - 35,9°С - 37,1°С (с 1722 по 2023 год)(*Климат, погода в Санкт-Петербурге. // Petrohol.ru.*)^[51].

В Санкт-Петербурге в среднем 62 солнечных дня в году, в остальное время преобладает пасмурная и дождливая погода. Среднегодовое количество осадков составляет 670 мм, причем почти все осадки выпадают зимой в виде снега и льда^[52].

Активная циклоническая деятельность здесь – главная причина частой смены воздушных масс. Летом преобладают западные и северо-западные ветры, а зимой – западные и юго-западные^[52].

1.2.3 Растительность и биология Санкт-Петербурга

Задолго до основания города прибрежные почвы здесь были покрыты пойменными лугами и прибрежными ивовыми лесами. В соседних районах преобладали елово-сосново-березовые леса, перемежающиеся с ольшанниками. А на близлежащих равнинах преобладали елово-сосново-березовые леса с примесью ольхи^{[36][37]}.

В таблице 1 представлены целевые показатели правительства Санкт-Петербурга по обеспеченности зелеными насаждениями жителей города по отдельным районам^[43]. В Пекине на душу населения приходится 16 квадратных метров парковых зон. В Лондоне этот показатель составляет 33,4, в Париже – 10,7, а в Токио – 4,5. Как видно из данных таблицы, Санкт-Петербург относительно зеленый город – обеспеченность населения зелеными насаждениями в нем на 2023 г., даже без учета пригородных районов, составляет в среднем более 11%.

Таблица 1. показатели обеспеченности жителей Санкт-Петербурга зелеными насаждениями (2023 год)

Показатели обеспеченности населения Санкт-Петербурга территориями зеленых насаждений (с учетом Закона Санкт-Петербурга от 13.12.2023 № 758-163 «О внесении изменений в Закон Санкт-Петербурга «О зеленых насаждениях общего пользования»)	
Район Санкт-Петербурга	Показатель обеспеченности населения Санкт-Петербурга территориями зеленых насаждений, кв. м/чел., исходя из численности населения Санкт-Петербурга на 01.01.2023
Адмиралтейский	7,29
Василеостровский	7,12
Выборгский	14,46
Калининский	11,48
Кировский	12,23
Колпинский	13,75
Красногвардейский	13,68
Красносельский	16,08
Крошштадтский	13,25
Курортный	57,83
Московский	14,47
Невский	9,19
Петроградский	27,43
Петродворцовый	91,96
Приморский	10,12
Пушкинский	25,46
Фрунзенский	10,58
Центральный	4,96

В настоящее время, в основных городских районах, наиболее распространенными растениями, которые мы видим, являются Снотворное, Тясчелистник овощной, Бодяк полевой, Полынь овощная и одуванчик лекарственный^[44]. Эти растения растут почти повсеместно в зеленых зонах города. Если говорить о выборе пород деревьев, то правительство отдает предпочтение липе, клену, ели, сосне, иве, рябине и лиственнице. Исследование показало, что эти деревья действительно являются наиболее устойчивыми к воздействию городской среды^[37].

1.2.4 Проблемы окружающей среды и загрязнения (влияние человеческой деятельности)

Разрастание города и промышленная деятельность привели к значительному

изменению естественного рельефа Санкт-Петербурга. Застройка часто требует топографических изменений, таких как заполнение озер и болот, которые изменяют первоначальный естественный рельеф и гидрологические схемы, и эти антропогенные изменения непосредственно влияют на естественное распределение и экологическое функционирование почвы^[16].

Кроме того, одним из основных факторов, влияющих на почву, является загрязнение атмосферы (в основном, за счет выхлопов автомобилей). По данным 2014 года, общий годовой объем выбросов вредных газов в Санкт-Петербурге составил 513 000 тонн. Из них 86,1% составила доля выбросов только от автомобилей. Содержащиеся в этих вредных газах сульфиды, оксиды азота и небольшое количество тяжелых металлов и других вредных веществ рассеиваются в окружающем воздухе и попадают в почву, что негативно сказывается на экологическом состоянии почвы^[45].

Загрязняющие вещества в почве в основном делятся на органические и неорганические. Оба типа загрязнителей распределены в Санкт-Петербурге очень неравномерно. Это связано с тем, что разные территории выполняют разные функции и имеют разный уровень развития. Однако все эти загрязнители имеют разный уровень токсикологического воздействия на городское население. На следующих трех картах (Рис 4 Рис 5 Рис 6) показано распределение органических загрязнителей, свинца и тяжелых металлов в почве Санкт-Петербурга. Видно, что ситуация с загрязнением в основной городской зоне не является благоприятной.

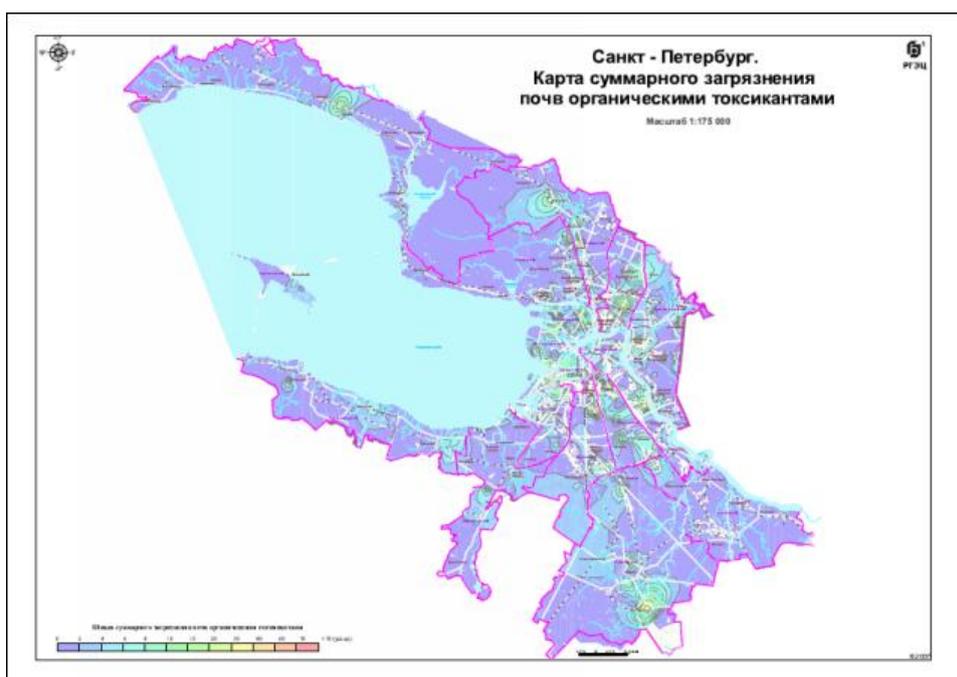


Рис 4. карта загрязнения почвы органотоксичными веществами

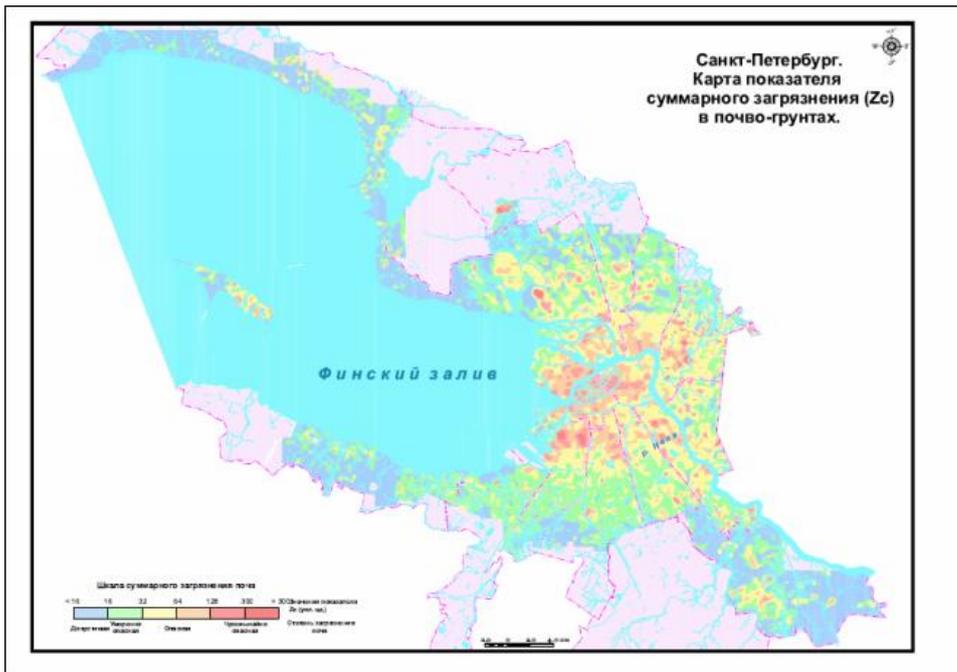


Рис 5. Карта загрязнения почвы ТМ

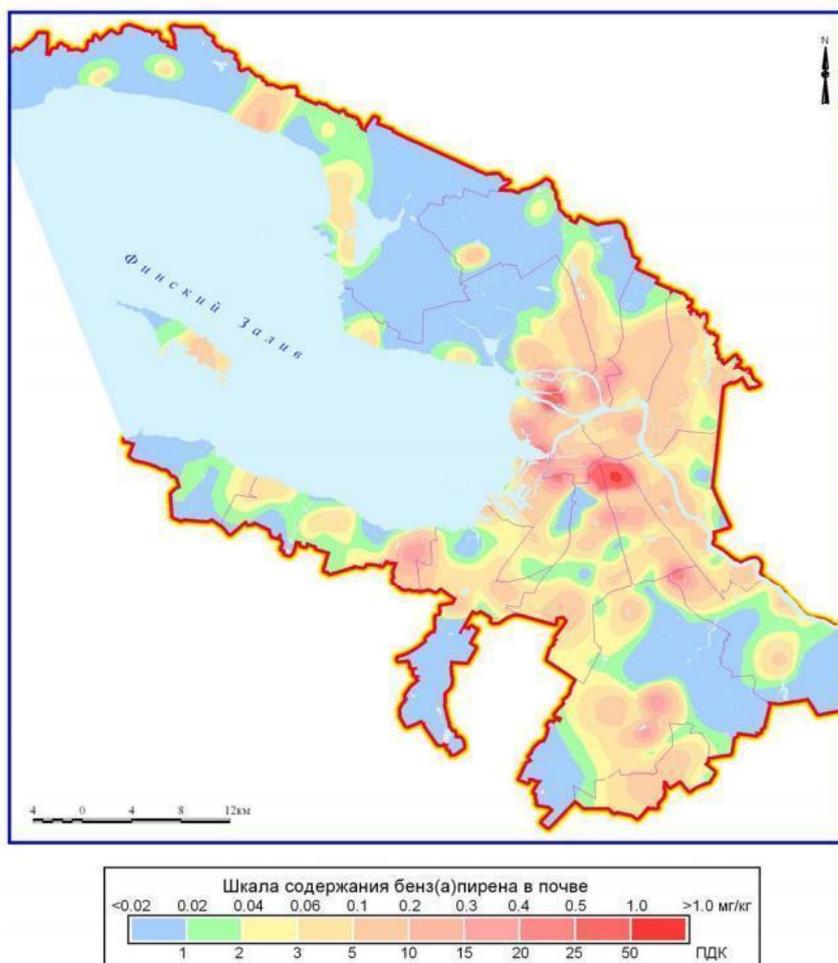


Рис 1. Схема загрязнения почв Санкт-Петербурга бенз(а)пиреном

Рис 6. Карта загрязнения почвы ПАУ

Другие загрязнители, включая воду, природные и техногенные источники радиации, загрязнение растений, также очень серьезны (приведенные выше данные взяты с сайтов "cottagespb.ru" и "lenexpo.ru")^{[46][47]}.

По словам С.Тихоновой, загрязнение тяжелыми металлами уже давно является одним из приоритетных направлений проблемы городских почв^[48]. Это связано с тем, что тяжелые металлы не только влияют на здоровье почвы, но и распространяются в окружающую среду и негативно влияют на условия жизни окружающих организмов. А в городских почвах больше всего от тяжелых металлов страдает, конечно же, верхний слой почвы. Понятие «тяжёлые металлы» было предложено немецким химиком Леопольдом Гмелиным в 1817 году. Известно около сорока различных определений термина тяжёлые металлы, и невозможно указать на одно из них, как наиболее принятое. Соответственно, список тяжёлых металлов согласно разным определениям будет включать разные элементы^[49]. По классификации Н. Реймерса (1990), тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см³. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов^[50]. Эти тяжелые металлы поступают в городскую атмосферу в виде аэрозолей и способны преодолевать большие расстояния, нанося огромный ущерб окружающей экологии^[51].

Что касается загрязнителей тяжелыми металлами, образующихся в результате работы городского транспорта, то основными из них являются свинец, медь, цинк и кадмий. В основном это связано с тем, что большинство автомобилей работают на этилированном бензине и смазочных маслах (содержащих свинец, цинк и мышьяк)^[52]. В том числе в асфальте, который обычно используется для покрытия наших дорог, присутствует большое количество вредных элементов, среди которых кадмий, свинец, ртуть и хром составляют относительно высокое содержание этих тяжелых металлов^[53].

Кроме того, элемент кадмий, хотя и встречается в природе на поверхности земной коры, в человеческом обществе часто встречается на различных металлических поверхностях (гальванические процессы и пигменты), пластмассах, никель-кадмиевых батареях и различных электронных изделиях. Все они в процессе использования

выбрасываются в атмосферу и почву в качестве загрязнителей. Элементарный никель также является одной из наших проблем. Это связано с тем, что никель часто используется при производстве и применении приборов. Машины, щелочные батареи, а также катализаторы, антикоррозийные покрытия и т. д. Он является незаменимым веществом при производстве и эксплуатации автомобилей.

Медь – относительно особый тяжелый металлический элемент. В древности медь была драгоценным металлом. В наше время медь по-прежнему является незаменимым и широко используемым в производстве металлом. Практически все электронные изделия, промышленная выплавка, выемка грунта, пыль, аккумуляторные провода, микросхемы, трубопроводы и т.д., используют и прокладывают медь.

Конечно, помимо тяжелых металлов, образующихся в результате движения транспорта, не стоит игнорировать и тяжелые металлы, вымываемые из строительного мусора. Исследования показали, что содержание тяжелых металлов в строительных отходах очень высоко, а воздействие на экологическое здоровье почвы очень значительно (не ограничиваясь загрязнением тяжелыми металлами), если они не перерабатываются, напрямую депонируются или даже захораниваются^{[52][54][55][56]}. Когда мы собрали и обработали образцы, мы обнаружили в них, в большей или меньшей степени, строительный мусор.

1.2.5 Почвенный покров СПб

Оценка экологических основ качества городской жизни не может быть отделена от изучения почвенного покрова. Это связано с экологическими функциями городских почв. Емкость почвы зависит от структуры, физико-химических свойств и площади почвенного профиля. Почвенный покров Санкт-Петербурга имеет свои уникальные характеристики. Он неотделим от связи города с рекой Невой. Нева, Балтийское море, природная мощь города в течение года и способность человека преобразовывать природу в течение последних ста лет придали почве историю ее формирования, которая вошла в учебники истории. Анализируя структуру почвенного покрова на территории города, можно сделать некоторые выводы о закономерностях влияния человека на почву на протяжении сотен и тысяч лет. Почвенный покров Санкт-Петербурга представлен естественными, искусственно измененными и интродуцированными почвами на разных стадиях развития, в профилях которых генетические связи между слоями отсутствуют или незначительны. Классификация почв города основана на новой российской классификации почв (2004)^[57].

До начала строительства в Петербурге преобладали болота и леса. А по мере строительства и развития города они полностью изменили первоначальный ландшафт

дельты Невы. Леса, луга и болота исчезли в результате постоянного расширения города, сопровождавшегося уничтожением и захоронением естественной почвы, с которой они сосуществовали. Мы и сегодня можем видеть их под культурными слоями городской почвы, местами на глубине до четырех метров^[36].

Нева была важнейшим водным путем в Восточной и Северной Европе в период 800-1100 гг. и оказала глубокое влияние на культуру, геологию и т.д. обоих регионов. А антропогенная нагрузка между двумя регионами значительно усилила здесь нарушение почвенного покрова. И уже к XV веку на территории Санкт-Петербурга насчитывалось более 400 человеческих поселений, включая деревни. В почвенном покрове здесь были представлены три типа эксплуатируемых человеком почв – это сельскохозяйственные дерново-перегнойные почвы, сельскохозяйственные зольно-гумусовые почвы и сельскохозяйственные дерново-перегнойные почвы. С последующим общественным развитием сельскохозяйственные угодья и поселения расширялись, и структура почвенного покрова стала усложняться. В конце концов, в петровское время разрушение почвенного покрова усилилось. Б.Ф. Апарин комментирует, что это было похоже на лавину. Строительство города, прокладка дорог, выемка грунта и обводнение фундаментов под строительство зданий, планировка парков, а также многие другие действия человека глубоко изменили внешний вид и характер почвы в городе^{[35][58]}.

Сейчас в центральной части города почти вся почва привнесена. То, что когда-то было естественной почвой, уничтожено или погребено под культурными слоями. И в целом почвенный покров города фрагментарен и прерывист по своему составу и структуре. Нет прямого водообмена друг с другом, а растительность редко взаимодействует друг с другом. И, с точки зрения почвенного профиля, практически невозможно найти структуру почвенного профиля, которая могла бы сформироваться генетически, за исключением лесопарков. Это связано с тем, что между почвенными горизонтами и составом почвенного покрова практически нет связи, которая была бы обусловлена деятельностью человека и активно формировалась^[16].

В городах эта почва встречается во многих зеленых поясах по обочинам городских дорог и в жилых районах. Большая часть почвы в этих зонах ограничена небольшими техногенными "квадратами" и отделена от "существующей" в земле почвы непочвенным слоем. В почвенном покрове преобладают серогумусовые урбислоисто-гумусовые почвы. Почвы старых городов имеют более однообразный состав, так как имеют почти общее происхождение и историю. А затем в процессе городской застройки большая часть гумусового слоя почв была постепенно засыпана строительным мусором³⁵⁵⁸.

1.2.6 Основная информация о Кировском районе

Кировский район – административно-территориальная единица на юго-западе Санкт-Петербурга. Назван был в честь одного из руководителей города – С.М. Кирова. Кировский район граничит с Адмиралтейским районом на севере и отделен от Васильевского острова устьем реки Невы. На востоке он соседствует с Московским районом вдоль железнодорожной линии на Ломоносов и Гатчину. На юге он граничит с Красносельским районом, на западе - Финским заливом. До революции в черту города входили только северная и северо-западная части современной территории района (к северу от реки Таракановки), которые входили в состав Нарвского участка. Земли к югу от Таракановки были частью загородного участка Летнего дворца Петра^[59].

По качеству жизни Кировский район занимает 14-е место среди 18 районов Санкт-Петербурга^[45].

1.3. Экологический мониторинг городских почв

Контроль за развитием почвенных процессов, прогноз их развития, осуществление профилактических и защитных мероприятий в последние десятилетия приобретает характер важных задач государственного масштаба^[60].

Для решения этих задач в настоящее время применяются разномасштабные долговременные и целенаправленные мониторинговые наблюдения, на основе которых могут быть установлены тенденции развития различных процессов, в том числе природных, антропогенных и техногенных и разработаны механизмы по управлению этими процессами.

Экологический мониторинг является комплексной подсистемой мониторинга биосферы и включает наблюдение, оценку и прогноз антропогенных изменений состояния абиотической части биосферы, ответную реакцию экосистем на эти изменения, превращения в экосистемах, связанные с воздействием загрязнений, урбанизацией территорий.

Экологический мониторинг направлен на обеспечение оптимальных экологических условий для человека в пределах рассматриваемой природно-технической системы. Конечным результатом экологического мониторинга должна быть оценка и прогноз состояния объекта мониторинга^[60].

Система общего экологического мониторинга помимо мониторинга геологической среды включает в себя и другие виды мониторинга, в том числе, климатический,

гидрологический, географический и биологический^[61].

В зависимости от широты охвата выделяют несколько видов мониторинга: комплексный мониторинг, в рамках которого ведутся наблюдения за всеми элементами среды и частные виды мониторинга, в рамках которых проводится наблюдение за отдельными ее элементами^[62].

Мониторинг должен обладать следующими характеристиками: целенаправленность, что означает наличие целевой программы с выходом на конечную цель, мониторинг также характеризуется комплексностью наблюдений, объектов и целей, еще одной характеристикой мониторинга является системность^[63].

Проведение мониторинга требует наличия научно-методической базы, на основе которой проводится весь комплекс исследований. Эта база необходима не только при планировании и проведении мониторинга, но и при оценке результатов исследования.

1.3.1. Мониторинг почв

Мониторинг почв играет существенную роль в системе общего экологического мониторинга и является одним из видов частного мониторинга.

Комплексная система слежения за качеством окружающей природной среды включает в себя как важнейшую составляющую почвенно-экологический мониторинг. В отличие от воды и атмосферного воздуха, которые являются миграционными средами, почва представляет собой наиболее объективный и стабильный индикатор техногенного загрязнения экосистем. Она четко отражает эмиссию загрязняющих веществ и их фактическое распределение в компонентах ландшафта^[61].

Современное экологическое состояние почвенного покрова крупных городов формировалось в результате градостроительного и индустриального развития. В процессе развития городов площадь естественного почвенно-растительного покрова постепенно сокращается^[64].

Негативное антропогенное воздействие на почвы приводит к нарушению почвенного покрова, его деградации и загрязнению. Вследствие этого требуется проведение комплексного почвенно-экологического мониторинга. Обследование почвенного покрова должно показать темпы загрязнения почв, которое представляет потенциальную опасность для здоровья населения города и объектов окружающей природной среды^[60].

Мониторингом почв называется комплексная система наблюдений за состоянием почв,

оценки и прогноза изменений состояния почвенного покрова под воздействием природных и антропогенных факторов. Система мониторинга включает наблюдения и последующий анализ с целью разработки прогноза развития почвенной среды и принятия на их основе рекомендаций и решений по управлению режимами почв^[62].

Полученная в результате мониторинговых исследований информация может быть использована для оперативного установления источников ущерба и негативного воздействия и выявления критических факторов воздействия, меры по защите окружающей среды, определять допустимые нагрузки на окружающую среду, оценивать эффективность различных форм строительства^[60].

Мониторинг состояния почвенного покрова в городе является частью системы, состоящей из следующих блоков^[64]:

1. обследование почвенного покрова и выявление деградированных и загрязненных почв;
2. проведение рекультивации и санации почвенного покрова;
3. контроль качества проведенных мероприятий по реабилитации почвенного покрова;
4. экологический мониторинг состояния почвенного покрова.

Выявление загрязненных почв производится путем проведения почвенных, агрохимических и других необходимых обследований. По содержанию проводимых работ обследование может быть полным и неполным. При полном обследовании выявляются все типы загрязнений, а при неполном определении ведется только по нескольким типам^[62].

Целями мониторинга почв являются^[61]:

1. своевременное обнаружение неблагоприятных свойств почв при различном их использовании и при развитии естественного почвообразовательного процесса;
2. контроль за состоянием почв по сезонам года;
3. оценка среднегодовых потерь почвы в результате эрозии;
4. обнаружение и оценка скорости потерь гумуса, азота, фосфора;
5. контроль за изменением кислотности и щелочности почв;
6. контроль за изменением солевого режима;

7. контроль за загрязнением почв тяжелыми металлами, в особенности за локальными загрязнениями вблизи транспортных магистралей и промышленных предприятий;
8. долгосрочный и сезонный контроль за влажностью, температурой, структурным состоянием, водно-физическими свойствами почв и содержанием в них элементов питания растений.

Первым этапом проведения мониторинга почв является рекогносцировочное обследование, в ходе которого уточняется расположение возможных источников загрязнения, визуально выявляется загрязнение, предварительно выявляются точки отбора образцов^[64].

На втором этапе почвенного мониторинга проводят отбор проб. Выбор участков отбора зависит от типа источника и соответствующего ему характера пространственного распределения загрязняющих химических веществ в почвах и грунтах обследуемой территории.

Данные мониторинга могут использоваться для оценки состояния почв при сопоставлении с системой стандартных критериев и показателей^[62].

Мониторинг направлен также и на выполнение исследовательских задач. Например, данные мониторинга необходимы для решения задач, связанных с рациональным использованием земли. Определение задач для исследования может помочь свести к минимуму или уменьшить количество параметров подлежащих контролю, что значительно удешевляет исследования⁶⁵.

1.3.2 Мониторинг почв городских территорий

Отдельным видом мониторинга является мониторинг почв городских территорий. Целями мониторинга городских почв являются^[65]:

1. оценка соответствия качества городских почв установленным нормативам, экологическим требованиям в зависимости от функционального назначения территории и целевого использования городских почв;
2. выявления источников негативного воздействия на городские почвы, оценка характера и уровня воздействия указанных источников, прогноз и выработка

рекомендаций по устранению либо минимизации негативных воздействий на городские почвы;

3. оценка совокупного воздействия негативно влияющих источников на городские почвы в пределах конкретной территории;
4. оценка воздействия противогололедных средств на состояние городских почв;
5. информативное обеспечение осуществления государственного контроля в области охраны и рационального использования городских почв, иных функций управления в указанной области, проведения государственных экспертиз;
6. обеспечение граждан информацией о состоянии городских почв.

В условиях постоянно развивающихся городов требуется учет факторов негативно влияющих на почвы и создание обоснованной системы мониторинга территории городских агломераций. В рамках такой системы должна быть выполнена серия последовательных операций, включающая в себя^[60]:

- анализ инженерно-геологической структуры города;
- анализ техногенного воздействия;
- выявление характера и интенсивности изменения почвенного покрова и его компонентов;
- оценка количественных показателей состояния почв и их изменение.

Основные решаемые периодически, повторяясь во времени, функциональные задачи службы мониторинга^[62]:

- систематическое выявление изменений в состоянии земельного фонда;
- изучение, оценка и прогноз негативных процессов;
- обновление баз данных государственного земельного кадастра, в частности, по учету качества и количества земель;
- информационное обеспечение оценки земель, анализ состояния земель по отдельным его аспектам (имущественно-правовой, архитектурно-градостроительный, инженерно-строительный, экологический и санитарно-гигиенический) и прогноз этого состояния;
- информационное обеспечение охраны и государственного земельного контроля за использованием и охраной земель.

Специфика мониторинга городских почв обусловлена особенностями городских почв и их экологических функций.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Объекты исследования

2.1.1. Проспект Стачек – крупная транспортная магистраль

Проспект Стачек – крупная транспортная артерия и центральная магистраль Санкт-Петербурга в Кировском районе. Она была сформирована на основе части Петергофской дороги, которая строилась и реконструировалась на протяжении многих лет. Начинается от площади Стачек и Нарвских ворот. После пересечения с бульваром Маршала Жукова становится Петергофским шоссе^[66].

В конце 2002 года строительство эстакады над железнодорожными путями и ветки грузового порта еще больше повысило транспортную нагрузку на Проспект Стачек.

Между улицей Морской Пехоты и Автомобильной улицей на проспекте начинаются трамвайные пути и продолжают вплоть до конца проспекта. До начала 1950-х годов трамвайные пути были проложены на всём протяжении проспекта Стачек, а трамвайно-железнодорожный переезд в створе проспекта Стачек существовал до 1978 года, пока не был построен Кронштадтский путепровод^[67].

На участке от площади Стачек до Трамвайного проспекта проходит 20-й маршрут троллейбуса. Также по проспекту проходит ряд автобусных маршрутов.

Непосредственно на проспекте располагаются три станции Петербургского метрополитена: «Нарвская», «Кировский завод» и «Автово».

Статистика пробок в районе Стачек проспект, Санкт-Петербург

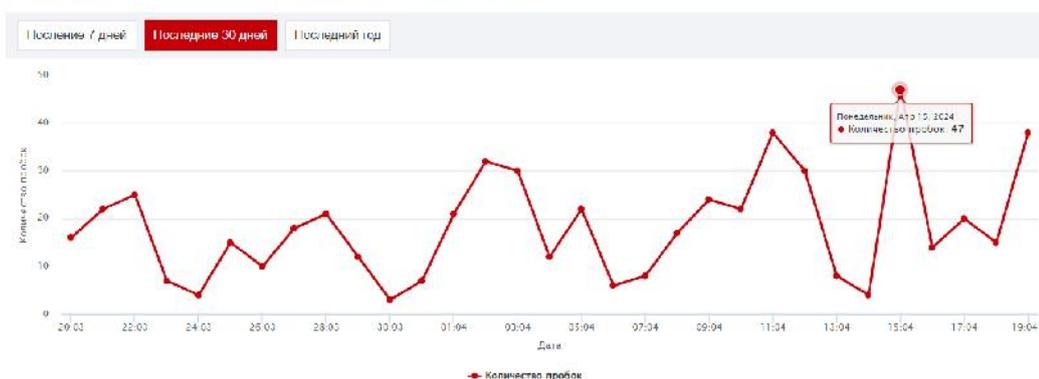


Рис 7. Статистическая карта, показывающая количество пробок на Проспект Стачек за 30 дней

По данным сайта Пробки (probki-spb.ru), за период 2023.3.17-2024.4.17 количество ежедневных пробок превышало 20 в каждом втором дне наблюдений. А если посмотреть исторические записи, то из 34 перекрестков на Проспекте Стачек в среднем 15

перекрестков ежедневно медленно движутся или перегружены в часы пик. Очевидно, что общий индекс напряженности дорожного движения на Проспекте Стачек очень высок в часы пик (Рис 7)^[68].

Судя по новостным сообщениям и нашим наблюдениям за улицей Стачек, можно определить, что реконструкция проезжей части и части тротуара началась 26 июля 2023 года на отдельных участках улицы Стачек. В некоторых местах грунт по обеим сторонам проезжей части был искусственно вынут, вывернут, обнажен и засыпан. Работы по устройству тротуаров были завершены примерно в период с августа по октябрь 2023 года. Строительство началось в Санкт-Петербурге и закончилось на пересечении улиц Трефолева и Проспект Стачек.

2.1.2. Место отбора проб

На Рис 8 показана схема расположения 11 точек отбора проб на карте.

Ранее обследование территории проспекта Стачек проводилось сотрудниками лаборатории Мониторинга и оптимизации техногенных ландшафтов СПбНИЦЭБ РАН в рамках интегрального экологического мониторинга почв с 1993 года^[69]. Затем мониторинговое обследование данной территории было проведено в 2011 г. студенткой кафедры агрохимии СПбГУ А.К. Бездельгиной. Поэтому при выполнении данной работы образцы отбирались в соответствии с заложенными точками многолетнего мониторинга.

Отбор проб был проведен на Проспекте Стачек, и образцы почв были собраны на близлежащих к проезжей части газонах. Отбор проб осуществлялся почвенным агрохимическим буром с пробной площадки площадью 1 м². Отбиралась средняя проба, состоящая из 10-15 точечных. Отбор проб почвы проводился методом конверта. Было собрано около 1000 г каждого образца. Одновременно с отбором почвенной пробы был проведен замер проективного покрытия и описана растительность. Также собирались образцы растений для дальнейшего определения. Были измерены расстояние между местом отбора проб и автомагистралью, сделано подробное описание пробной площадки и сделаны фотографии (Приложение).

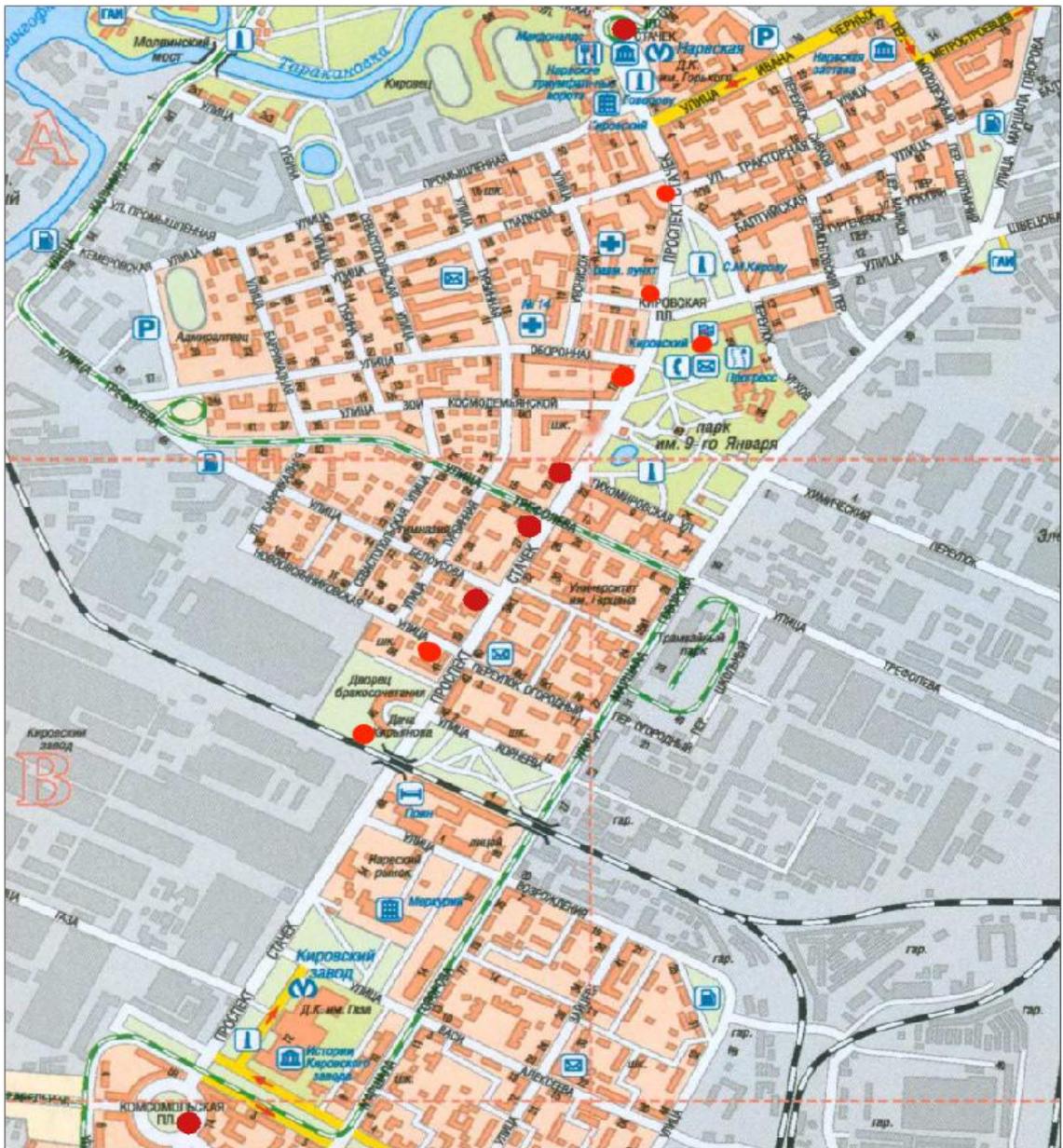


Рис 8. Схематическое изображение расположения 11 мест отбора проб на карте.

Одной из задач исследования является изучение влияния городского транспорта на почву. Поэтому необходимо, чтобы место отбора проб было максимально приближено к Проспекту Стачек. Среди них №1 и №10 – зеленые зоны в центре транспортных развязок; №2, №3, №4 – участки Проспекта Стачек с наибольшей транспортной нагрузкой (здесь с Проспектом Стачек пересекаются несколько крупных улиц); №5, №6, №7 – участки Проспекта Стачек с относительно низкой транспортной нагрузкой; №8 – участок Проспекта Стачек наиболее напоминающее парковую среду (зеленое пространство); №9 – участок Проспекта Стачек, где ЗСД и железная дорога оказывают совместное влияние; №11 – парк, который может быть использован в качестве контрольной группы для всего набора данных.

Далее приведены описания точек отбора почвенных проб и растительности с мониторинговых площадок.

№1: Площадь Стачек

Площадь Стачек (до 1923 года Нарвская площадь) – площадь в Кировском районе Санкт-Петербурга. Расположена на пересечении улиц Стачек, Старо-Петергофской, Нарвской и Перекопской. На площади пересекаются семь дорог, что делает ее очень напряженным местом для движения транспорта.

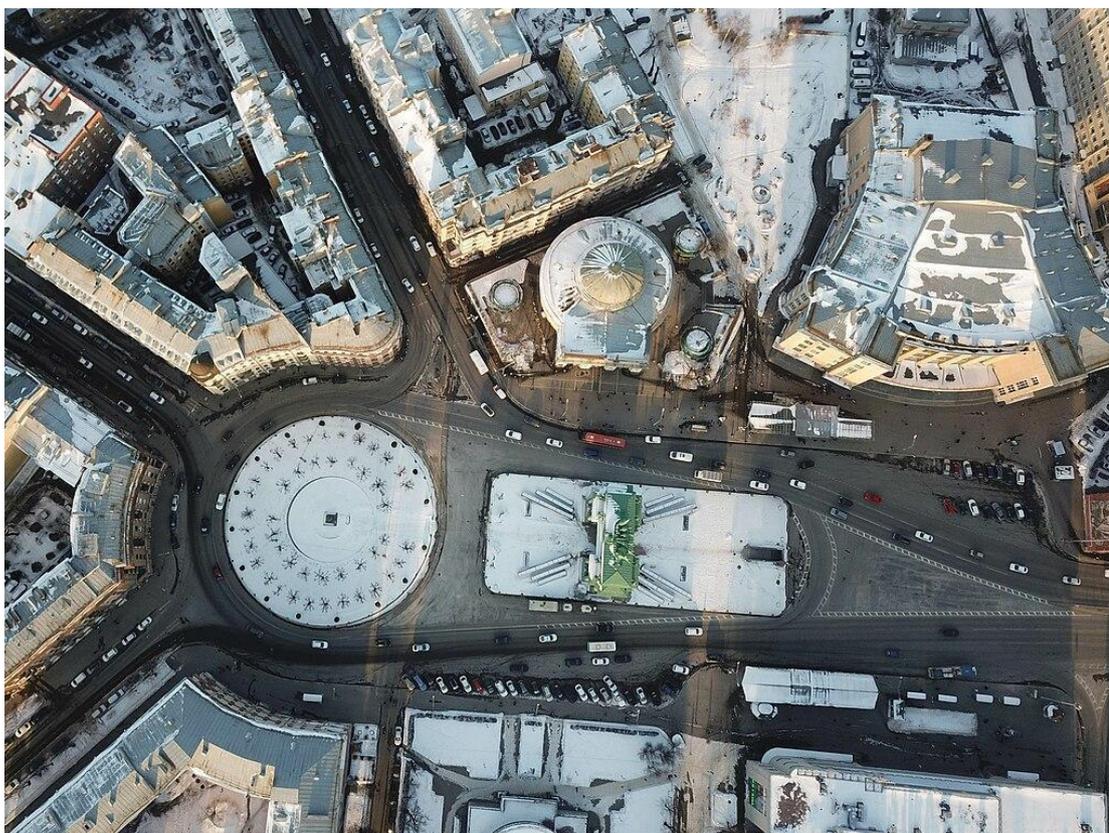


Рис 9. Вид сверху на площадь Стачек

Здесь находится знаменитая Триумфальная арка Нарвы и памятник Говорову. Место отбора проб почвы находится в 15-20 м к западу от памятника. Место отбора проб находится на расстоянии 6,5 м от дороги.

Темно-серый, рыхлый, с большим количеством корней, мощность 15 см, граница расположена неравномерно (с 5-20 см).

Растительность: липы. Газон: сорные многолетние растения.

Основные включения: останки травянистых растений, гравий диаметром 1 мм-5 мм, битый красный кирпич, Неизвестный желтый порошок

№2: пр. Стачек, №5

Место отбора проб было расположено вдоль Проспекта Стачек, на газоне перед школой. Оно находится в 8,4 м от автомагистрали.

Окраска темно-коричневая, сероватая, среднепрочный, доступно отобрать на глубину 10-15см.

Растительность: Ольха итальянская, липа мелколистная, *Populus nigra*, *Liriodendron tulipifera*. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Останки насекомых, остатки растений, фекалии млекопитающих, окурки, неопознанные кристаллы размером менее 1 мм (предполагается, что это может быть стекло)

№3: пр. Стачек, №9

Место отбора проб располагалось на зеленой площадке перед жилым домом по адресу: Проспект Стачек, дом № 5. Стоя здесь, можно увидеть памятник Сергею Мионовичу Кирову на противоположной стороне дороги. Рядом с местом отбора проб находится перекресток с улицей Косинова (дом № 17). Место отбора проб находится в 8,1 м от автомагистрали.

Окраска темно-серая, рыхлый, доступно полностью отобрать (на глубину 25см).

Растительность: *Corylus avellana*, *Corylus colurna*. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Растительные остатки, измельченная бумага, личинки насекомых, окурки

№4: пр. Стачек, №23

Место отбора проб расположено на зеленом газоне перед жилым домом №23 по проспекту Стачек. Он находится недалеко от пересечения проспекта Стачек и улицы Трефолева. Точка отбора проб находилась в 9,45 м от автомагистрали.

Светло-серый, рыхлый, культурный слой расположен неравномерно, доступно отобрать с 5-25 см.

Растительность: *Tilia tomentosa Moench*. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Обломки цемента, остатки растений

№5: пр. Стачек, №25

Место отбора проб расположено на зеленой территории перед минимаркетом в доме № 25 по проспекту Стачек. Точка отбора находится недалеко от пересечения проспекта Стачек и улицы Трефолева, как и в случае с образцом № 4, но на другой стороне улицы Трефолева. Точка отбора находится в 16 м от автомагистрали.

Темно-серый, рыхлый, доступно отобрать до 10-25см.

Растительность: лиана (*под Ligustrum*)(предположения). Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Растительные остатки, битый красный кирпич, фрагменты бетона, мелкие камни 1-5 мм, плиты размером более 10*20*5 см.

№6: пр. Стачек, №29

Место отбора проб расположено перед жилым домом № 29 по проспекту Стачек, в юго-западном центре зеленой зоны. Точка отбора проб находится в 7.5 м от автомагистрали.

Темно-серый, состояние рыхлое, доступно копать на глубину до 25см.

Растительность: *Tilia tomentosa Moench*. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Растительные остатки, битый красный кирпич, фрагменты бетона, мелкие камни 1-5 мм

№7: пр. Стачек, №35

Место отбора проб расположено перед жилым домом № 35 по проспекту Стачек. Точка отбора проб находится в 11.7 метрах от автомагистрали.

Темно-серый, компактная структура почвы, доступно отобрать на глубину 10-25 см.

Растительность: *Tilia tomentosa Moench* Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Растительные остатки, древесная щепка, панцири насекомых, битое стекло, мелкие камни 1-5 мм

№8: пр. Стачек, №41

Место отбора проб расположено на проспекте Стачек у дома № 41, напротив `Лофт Бэнкет`, перед большим зеленым массивом, который находится к северу от Нарвской

Заставы. Точка отбора проб находится в 37 метрах от автомагистрали.

Красновато-коричневый, компактная структура почвы, доступно отобрать на глубину 10-25 см.

Растительность: Робиния псевдоакация, *Acer pseudoplatanus*, *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, *Tilia cordata* Mill. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Остатки растений, битый красный кирпич, битое стекло, мелкие камни 1-5 мм

№9: сад Кирьяново (грунтовый склон у железнодорожных путей)

Место отбора проб расположено под мостом Западного скоростного диаметра, на насыпи рядом с железной дорогой. Середина склона, 10 м от автомагистрали до склона, уклон приблизительно 30 градусов.

Коричневый, черный и серый, а также немного белого, Структура почвы трещиноватая, местами рыхлая, местами компактная., на глубину 5-25см

Растительность: Газон: сорные многолетние растения.

Включения: мелкие камни 1-500 мм, Остатки растений, битый красный кирпич, древесный уголь, щепки, стекло, битые куски пластика, цементные блоки,

№10: Комсомольская площадь

Место отбора проб расположено в зеленом массиве с западной стороны Комсомольской площади. Комсомольская площадь (до 1958 года – Круглая площадь) расположена на пересечении проспекта Стачек, Краснопутиловской и Корабельной улиц, недалеко от Кировского завода (Карты Google)^[70].

Является транспортной развязкой и разворотным пунктом на проспекте Стачек. Краснопутиловская улица начинается от площади и переходит в Московское шоссе. Она состоит из трех однотипных зданий в стиле сталинского ампира. Единственная площадь в Санкт-Петербурге, имеющая в своем основании правильный круг^[70].

Место отбора проб находилось в 9,3 м от автомагистрали.

Окраска неравномерная, слоистая, цвета сверху вниз – серый, белый, красный, белый и серый с переливами, серый, черный, Прочная структура почвы, доступно

отобрать на глубину 10-25 см.

Растительность: лиана (*под Ligustrum*), *Picea pungens* Engelm, Газон: сорные многолетние растения.

Включения: Останки растений и насекомых

№11: Парк им. 9 января

Место отбора проб расположено в северо-восточной части сада Девятого Января. Это пейзажный парк. Расположен между проспектом Стачек, Тихомировской улицей и улицей Маршала Говорова. С северо-восточной стороны границей парка служит здание Кировского райсовета и ряд домов, расположенных между садом и Урховым переулком. Сад был заложен 1 мая 1920 года (в день первого Всероссийского субботника) в память о жертвах 9 января 1905 года^[71]. Место отбора пробы находится относительно далеко от проспекта Стачек, согласно спутниковой карте, визуалью около 200 м. Поскольку парки считаются относительно экологически благополучными местами в городе, можно использовать экологические данные по этой точке в качестве контрольной группы и эталона.

Цвет черный. Прочная структура почвы, пробы можно брать на глубину 20 см.

Растительность: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *Ulmus laevis* Pall. Газон: сорные многолетние растения.

Включения: 1-5 мм мелкие камни, листья

Основываясь на внешнем виде и ощущении этих почв, мы назвали их урбанозем.

2.2. Методы исследования

Методы отбора и средства консервации почвенных образцов соответствуют гост 17.4.4.02-2017 «охрана природы. Методы отбора и подготовки проб для химического, микробиологического и гельминтологического анализа»^[72].

Для изучения физико-химических свойств почвы были использованы следующие методы^{[73][74]}.

- Фактическую кислотность почвы определяли потенциометрическим методом. Измеряли pH водной суспензии исследуемой почвы;

- Содержание подвижных форм Р и К определяли по методу Кирсанова;
- Формы азота (аммонийный, нитратный и нитритный азот) определяли с реактивом Несслера, дисульфидным методом и реактивом Грисса, соответственно;
- Гидролитическую кислотность определяли по методу Каппена, сумму поглощенных оснований определяли по методу Каппена-Гильковица.

Содержание воды в исследуемых почвах определяли по ГОСТ 28268-89^[75].

Гранулометрический состав определяли на лазерном гранулометрическом анализаторе (Лазерный анализатор размеров частиц FRITSCH ANALYSETTE 22 NanoТес. Год выпуска: 2018 г. Страна изготовитель: Германия.).

При изучении экологического состояния исследуемых почв концентрацию тяжелых металлов (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn) в подвижной форме во фракциях определяли с использованием аммонийно-ацетатного буфера (рН 4,8)^[73]. Определения проводились в Ресурсном центре "Магнитно-резонансные методы исследования" в Научном парке Южно-Тихоокеанского университета СПбГУ.

Общий углерод определяли по методу Тюрина, общий азот – микрохромовым методом Тюрина^[76].

Определение состава гумуса исследуемых почв проводили методом Тюрина по сокращенной схеме Кононовой-Бельчиковой с использованием пирофосфата натрия^{[77][78]}.

Оценка экологического состояния почв Василеостровского района Санкт-Петербурга проводилось с использованием методов биотестирования^{[79][80][81][82][83][84]}:

- 1) фитотестирование (ФТ) водных вытяжек из почвенных образцов;
- 2) дыхание почвы (актуальное дыхание, потенциальное субстрат-индуцированное дыхание).

Тест-объектом для ФТ были семена овса обыкновенного (*Avena sativa*).

Аналитическая повторность 3-кратная, при проведении биотестирования повторность 4-кратная.

Для статистической обработки данных использовалась программа IBM SPSS Statistics 25.0.0.

3. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРОСПЕКТА СТАЧЕК

3.1. Физико-химическая характеристика почв проспекта Стачек

Среди всех показателей физико-химических свойств почвы значение рН водного раствора почвы является первым важным объектом нашего внимания. А другие показатели, среди которых, в частности, гранулометрический состав, содержание подвижных форм азота, фосфора и калия, а также содержание общего углерода, являются важными средствами оценки экологических условий почвы и определения природы почвы, процессов ее формирования и других аспектов.

рН почвы определяется содержанием ионов водорода и алюминия. Значение рН водного раствора почвы можно отнести к кислотным или щелочным свойствам почвы. Кислотность или щелочность почвы, а также ее степень определяют условия преобразования и сохранения минеральных и органических компонентов почвы, являются одним из важнейших показателей условий поддержания оптимальной активности летучих органических веществ (в основном ферментов), содержащих белки и т.д. Кроме того, почвенные микроорганизмы и растения также очень чувствительны к значению рН почвы, что является для нас очень важным ориентиром для оценки степени благоприятности почвенной среды для них^[73].

В городских условиях загрязняющие вещества, как правило, изменяют многие показатели, такие как рН почвы^[65]. В таблице 2 представлены классы кислотности почв в зависимости от значения рН водной суспензии почвы.

Таблица 2. классы кислотности почвы на основе рН водных суспензий почвы

Почва	рН водной суспензии
Сильнокислые	3.0-4.5
Кислые	4.5-5.5
Слабокислые	5.5-6.5
Нейтральные	6.5-7.0
Слабощелочные	7.0-7.5
Щелочные	7.5-8.5
Сильнощелочные	>8.5

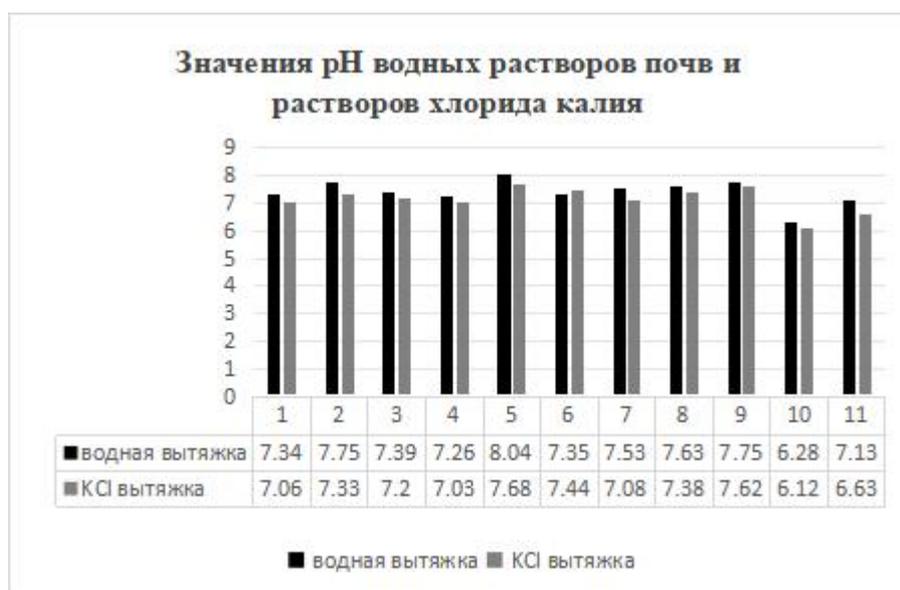


Рис 10. значения рН водных растворов почв и растворов хлорида калия

В образцах почв, отобранных с исследуемого нами проспекта Стачек, при растворении в воде были определены значения рН в диапазоне от 6,28 до 8,04 (Рис. 10). Сравнивая значения показателей, можно заметить, что исследуемые почвы относятся в основном к слабощелочным и щелочным: слабокислая – 1 образец; слабощелочная – 5 образцов; щелочная – 5 образцов.

Нейтральные и щелочные верхние слои почвы – обычное явление для городских почв^[85].

Почва № 5 была самой щелочной из всех образцов, ее рН достигал 8,04, в то время как № 10 имела значение рН менее 7 – 6,28, а для остальных образцов значения рН варьировались в пределах 7-8. Поскольку образцы 2-7 были взяты из зеленой полосы вдоль магистрали, а образцы 1 и 10 – из зеленой полосы в центре транспортной развязки, эти места отбора проб находятся ближе к проезжей части и в большей степени подвержены воздействию выхлопных газов автомобилей и использованию противогололедных реагентов (ПГР). Кроме того, на этих участках вдоль дороги может происходить частое поступление щелочных строительных материалов и отходов. Образец 8, с другой стороны, находится относительно далеко от дороги, но он также в определенной степени подвержен воздействию. Образец 9, поскольку на него воздействует как шоссе, главная дорога города, так и железная дорога, должен получить относительно большое воздействие по нашим ожиданиям. Образец 11 находится в парке им. 9 января, который является зеленым парком в городе, и это ссылка на то, что мы ожидаем хорошей экологии в городе. Факты в основном соответствовали нашим ожиданиям: на участках 2, 3, 5 и 7 на глубине 5-20 см почвы мы обнаружили некоторые включения (кирпичи, камни,

гипс, уголь, стекло, пластик); на участках 4 и 6 этих включений было относительно меньше. На участках 2, 5 и 9 мы нашли больше включений, а на участке 5 – даже щелочные цинково-марганцевые батарейки, которые еще не успели протечь.

Почва, как экосистема, конечно же, устойчива к внешним воздействиям. В естественных условиях внешнее воздействие снижается и противостоит буферному эффекту почвы, которая пытается вернуться в прежнее состояние. Таким образом, почва сама по себе обладает определенной степенью устойчивости к ощелачиванию. Согласно результатам, полученным при определении рН водных растворов почвенных образцов, значения рН исследуемых почв: за исключением почвы № 10, которая является слабокислой, результаты образцов № 2, 5, 7, 8 и 9 значительно выше, чем у почв полосного газона в естественных условиях. Этот результат свидетельствует о слабой устойчивости этих почв к подщелачиванию, вызванному внешними воздействиями в городских условиях.

Плотность почвы – один из важнейших показателей для оценки состояния почвы. Плотность почвы определяет, например, воздухопроницаемость почвы, степень аэрации, способность поглощать и накапливать воду, способность к водо- и газообмену, способность организмов перемещаться по почве, а также способность корней растений и микроорганизмов расти и развиваться в почве.

По результатам определения гидрофизических свойств целевых почв, плотность почвы всех образцов варьировала от 2,04 до 3,01 г/см³ (Рис 11). Содержание влаги в почве варьировало весьма значительно – образцы сильно различаются между собой. Среди них были очень пересушенные почвы с низкой влажностью, особенно в № 6 и 9, а в № 1, 10 и 11 влажность достигала 30%.

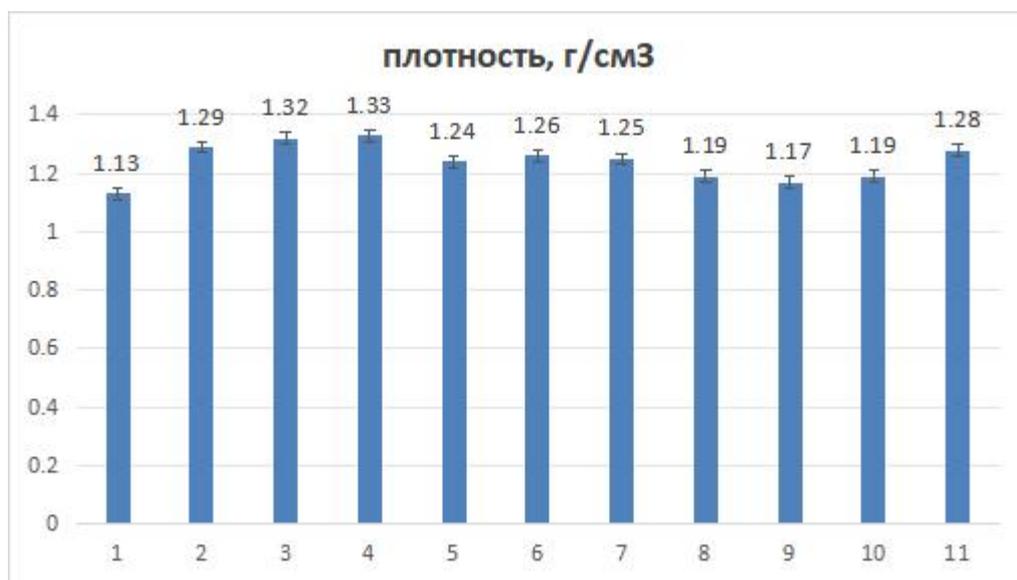


Рис 11. плотность образцов городских почв

Гидролитическая кислотность исследованных почв низкая, значительно ниже, чем в зональных почвах. Такое значение гидролитической кислотности характерно для почв, имеющих щелочную реакцию среды, поскольку гидролитически щелочные соли при попадании в почвенный раствор распадаются на слабую кислоту и сильное основание, которое придает раствору щелочную реакцию.

Таблица 3. физико-химическая характеристика городских почв

№	Место	Нг	Сумма погл.осн. (S)	Ст. нас-ти осн., (V), %
		мг-экв/100г п.		
1	Площадь Стачек	0,39	24,67	98,4
2	Стачек, 5 под старыми деревьями	0,39	39,67	99,0
3	Стачек, 11 газон перед перекрестком	0,34	36,67	99,1
4	Стачек, 23 у перекрестка с Трефолева	0,53	29,5	98,2
5	Стачек, 27(25) за перекрестком с Трефолева	0,39	48,67	99,2
6	Стачек, 29	0,83	39,83	98,0
7	Стачек, 35 из-под старых деревьев	0,83	40,83	98,0
8	Стачек, 45 за ЗАГС 50 м от Стачек старые деревья	0,31	49,00	97,4
9	Под ЗСД насыть ж/д у пр. Стачек	0,24	43,67	99,4
10	Комсомольская площадь	1,56	34,67	95,7
11	Сад 9 января	1,36	34,50	96,2

Сумма поглощенных оснований весьма значительна, что соответствует многим городским почвам, и совершенно нехарактерно для зональных почв. Вследствие этого в обследованных почвах наблюдается очень высокая степень насыщенности основаниями близкая к 100%. Это также является характерным для городских почв со щелочной реакцией среды и не характерно для зональных почв.

Наши образцы почв были проанализированы на предмет размера частиц, и мы обнаружили, что в целом, как и ожидалось, образцы имеют более легкий гранулометрический состав (Рис 12).

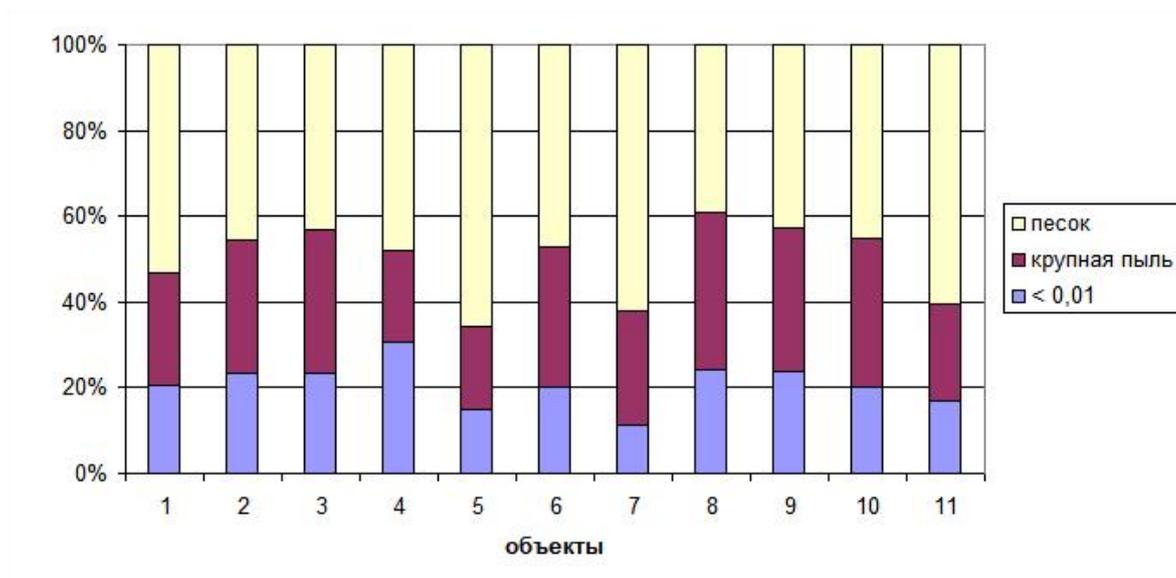


Рис 12. гранулометрический состав верхней части городских почв

В городах гранулометрический состав верхней части городских почв обычно мелкий и легкий из-за большого количества пыли и твердых частиц, попадающих в почву из окружающей среды^[86].

Таблица 4. оптимальные диапазоны плотности (по Бондареву, 1985)

Гранулометрический состав почвы	Оптимальный диапазон плотности (г/см ³)
Глинистые и суглинистые	1.0-1.3
Легкосуглинистые	1.10-1.40
Супесчаные	1.20-1.45
Песчаные	1.25-1.60

Такая картина может объясняться попаданием на газоны песка при обработке тротуаров антигололедными средствами, а также это может быть связано с находящимися в них строительными материалами.



Рис 13. Определение влажности городских почв

Объединив данные о плотности, влажности и размере частиц почвы (Рис 11, Рис 12, Рис 13) и сравнив их с предложенными Бондаревым (Таблица 5) (Бондарев А. Г, 1985), можно провести внутреннее заключение: уплотнение почвы в наших образцах сильно выражено практически во всех образцах, особенно в 2-7 и 10. Образцы 1, 8, 9 и 11 (центр кольцевых развязок, зеленых зон и парков на относительно большом расстоянии от дороги) находятся в относительно более хорошем состоянии. Таким образом, деятельность человека (механическое уплотнение, мелкие частицы в воздухе, загрязняющие вещества) наносит ущерб физической структуре почвы. В свою очередь, это может быть причиной неравномерного распределения растительности и ее неудовлетворительного состояния.

3.2. Результаты агрохимического анализа почв

Кроме того, одним из показателей, который необходимо учитывать, является содержание в почвах питательных элементов (подвижных форм азота, фосфора и калия), которые могут быть утилизированы растениями и микроорганизмами. Слишком малое количество азота, фосфора и калия губительно для роста растений. Слишком высокое содержание питательных веществ приводит к перенаселению микроорганизмов (нарушению равновесия) или обезвоживанию организмов.

Данные образцы городских почв характеризуются в целом наличием большого количества элементов питания (таблица 5). Исследуемые образцы характеризовались крайне высоким содержанием фосфора, на много выше, чем в зональном типе почв. Это происходит за счет внесения удобрений, попадания антигололедных реагентов, щелочной реакции среды и низкой интенсивностью биологического круговорота.

Таблица 5. содержание основных элементов питания растений

№	Место	P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг / 100г п.	
1	Площадь Стачек	668,5	52,90
2	Стачек, 5 под старыми деревьями	284,0	48,18
3	Стачек, 11 газон перед перекрестком	722,0	48,75
4	Стачек, 23 у перекрестка с Трефолева	544,1	41,31
5	Стачек, 27(25) за перекрестком с Трефолева	50,2	21,52
6	Стачек, 29	404,3	67,26
7	Стачек, 35 из-под старых деревьев	708,1	60,35
8	Стачек, 45 за ЗАГС 50 м от Стачек старые деревья	2028,1	28,24
9	Под ЗСД насыть ж/д у пр. Стачек	179,8	45,34
10	Комсомольская площадь	264,8	28,96
11	Сад 9 января	343,9	52,83

Содержание калия в образцах изменялось от высокого до среднего, что также характерно для городских почв и не характерно для зональных почв.

3.3. Оценка гумусового состояния почв проспекта Стачек

Гумус обладает комплексом факторов формирования и составных элементов. Поэтому состояние гумуса определяется совокупностью аспектов. В основном это многочисленные факторы, такие как общее количество, доля, тип и природа органического вещества^[87]. Кроме того, гумус является основным показателем плодородия почвы. Знание содержания и доли гумуса позволяет оценить состояние почвы, этапы формирования, направление трансформации и миграции веществ. Л.А. Гришина и Д.С. Орлов в 1978 году предложили систему показателей для оценки состояния почвенного гумуса^[88]. Среди них мы остановились на следующих показателях:

1. содержание органического вещества в почве
2. степень обогащения почвы азотом
3. степень гумификации
- 4, тип гумуса
5. содержание и соотношение гуминовых кислот 1-ой и 2-ой фракции.

Все исследованные образцы городских почв характеризовались высоким содержанием общего углерода – (4 – 11%) (Таблица 6). По этому показателю они значительно отличаются от зональных дерново-подзолистых почв^{[89][23]}. При этом, такая ситуация, в целом, характерна для городских почв^[90] и может быть вызвана внесением в них при формировании органогенных грунтов, органических удобрений, попаданием в почвы газонов органических веществ животного происхождения, а также загрязнением городских почв органическими поллютантами^[91]. Различия между объектами связаны с качеством исходного материала, внесением органических удобрений (или субстратов при реконструкции газонов), а также привнесением органического мусора (поллютантов), пыли, углистых частиц, углеводов. Наибольшие значения $S_{\text{общ}}$ наблюдались в образцах с площадок №1, 8, 10 и №11. Это почвы с газонов центральных площадей и со скверов – и там, и там вероятно проводилось регулярное внесение дополнительного органического материала (это подтверждается и составом гумуса, характерным для наносимых/добавляемых почво-грунтов).

Результаты показывают, что содержание общего азота в образцах изученных городских почв также было относительно высоким – около 0,4% (Таблица 6). Однако наиболее показательным является рассмотрение обогащенности городских почв N (Таблица 7).

Наибольшее содержание углерода наблюдается в образцах с участка №8 (Стачек, 45 за ЗАГС 50 м от Стачек) – 12,87%. Высокие значения содержания углерода также отмечаются в образцах с участка №10 (Комсомольская площадь) – 7,84% и участка №1 (Площадь Стачек) – 6,36%. Наименьшее содержание углерода отмечается в образцах с участка №7 (Стачек, 35 из-под старых деревьев) – 3,88%.

Наибольшее содержание азота отмечается в образцах с участка №8 (Стачек, 45 за ЗАГС 50 м от Стачек) – 0,65%. Высокие значения содержания азота также наблюдаются в образцах с участка №11 (Сад 9 января) – 0,57% и участка №1 (Площадь Стачек) – 0,48%. Наименьшее содержание азота отмечается в образцах с участка №4 (Стачек, 23 у перекрестка с Трефолева) – 0,26%.

Наибольшее значение отношения C/N наблюдается в образцах с участка №5 (Стачек,

27(25) за перекрестком с Трефолева) – 20,2, что может указывать на замедленные процессы разложения органического вещества. Высокие значения отношения C/N также отмечаются в образцах с участка №8 (Стачек, 45 за ЗАГС 50 м от Стачек) – 19,8 и участка №10 (Комсомольская площадь) – 18,7. Наименьшее значение отношения C/N наблюдается в образцах с участка №7 (Стачек, 35 из-под старых деревьев) – 7,9, что может указывать на интенсивные процессы разложения органического вещества.

Таблица 6. Содержание углерода и азота в исследуемых почв

№	Место	№ _{общ}	С _{общ}	C / N
		%		
1	Площадь Стачек	0,48	6,36	13,3
2	Стачек, 5	0,36	4,97	13,8
3	Стачек, 11	0,28	4,04	14,4
4	Стачек, 23	0,26	4,02	15,5
5	Стачек, 27(25	0,28	5,65	20,2
6	Стачек, 29	0,31	5,34	17,2
7	Стачек, 35	0,49	3,88	7,9
8	Стачек, 45	0,65	12,87	19,8
9	Под ЗСД насыть ж/д у пр. Стачек	0,31	4,19	13,5
10	Комсомольская площадь	0,42	7,84	18,7
11	Сад 9 января	0,57	5,78	10,1

Однако только общего содержания углерода недостаточно. Это связано с тем, что углерод в почве содержится не только в гумусе. Многие другие вещества, такие как органические загрязнители, организмы и их останки, органический мусор и т. д., содержат углерод. Углерод, содержащийся в этих веществах, будет присутствовать в результатах измерений содержания углерода в органическом веществе. Таким образом, наш образец, несмотря на высокое содержание общего углерода, поскольку это городская почва, должен в большей степени учитывать внешнее поступление (в основном антропогенное)

органического вещества. Поэтому нам также необходимо объединить содержание углерода в последующем анализе фракции гумуса, чтобы узнать, какой процент гумуса содержится в этих органических веществах.

Особый интерес представляют результаты фракционно-группового состава исследуемых почв (Таблица 7).

Таблица 7. состав гумуса городских почв, % к Собщ.

№ п/п	Содержание ГК			Сумма ФК	НО	Сгк/Сфк
	ГК1	ГК2	сумма			
1.Площадь стачек	7,6	7,2	14,8	14,0	71,2	1,06
2. Стачек 5 под старыми деревьями	8,6	3,1	11,7	11,5	76,8	1,02
3. Стачек 11 газон перед перекрестком	4,3	10,2	14,5	7,7	77,8	1,88
4. Стачек 23 у перекрестка с Трефолева	3,5	10,4	13,9	12,0	74,1	1,16
5. Стачек 27(25) за перекрестком с Трефолева	2,8	5,6	8,4	7,8	83,8	1,08
6. Стачек 29	5,8	9,5	15,3	10,0	74,7	1,53
7. Стачек 35 из-под старых деревьев	10,1	4,3	14,4	10,6	75,0	1,36
8. Стачек 45 за ЗАГС 50 м от Стачек старые деревья	7,0	4,1	13,1	9,4	77,5	1,39
9. Под ЗСД насыть ж/д ближе в Стачек	9,1	2,4	11,5	10,2	77,3	1,13
10.Комсомольск ая площадь	16,3	2,9	19,2	14,0	66,8	1,37
11. Сад 9 января	12,8	6,6	19,4	14,8	65,8	1,31

С одной стороны, они подтверждают закономерности, отмеченные ранее другими исследователями^[92] в том числе и в этих объектах. Во всех образцах гуминовые кислоты преобладают над фульвокислотами. Отношение $C_{ГК}/C_{ФК} > 1$, и составляет от 1,02 до 1,88, то есть тип гумуса является фульватно-гуматным и гуматным. В тоже время содержание (доля) ГК в составе гумуса невелика и в основном меньше, чем в составе гумуса фоновых почв (8 – 15% против 20-30%). Исключение составляют только почвы сквера Комсомольской площади (№10) и Сада 9 января (№11), по содержанию ГК эти почвы лишь немного уступают фоновым почвам. Также в качестве общих закономерностей качества гумуса городских почв во всех объектах отмечено наличие стабилизированных форм ГК, связанных с кальцием – фракция 2, и очень высокое содержание нерастворимого остатка (НО) от 66 до 84%, что ни в одном из изученных ранее типов почв естественных ландшафтов не наблюдалось.

С другой стороны, помимо уже отмеченных закономерностей, в составе гумуса некоторых изученных объектов – газоны проспекта стачек (№№ 3-6) наблюдалось крайне низкое содержание лабильных форм ГК со значительным преобладанием устойчивых, стабилизированных форм ГК – фракции 2 (Рис 14).

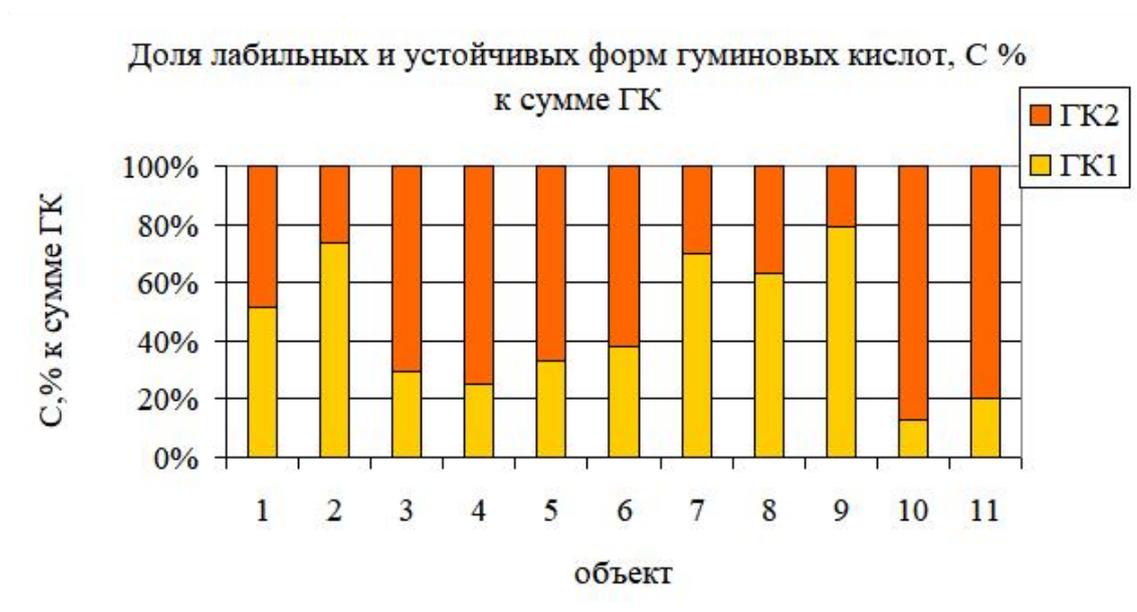


Рис 14. доля лабильных и устойчивых форм гуминовых кислот, С % к сумме ГК

Возможно, это связано с очень значительной техногенной нагрузкой на почвы

чрезвычайно загруженной транспортной магистрали. Ранее подобные данные для городских почв в литературе не были описаны (не встречались). Столь значительное уменьшение лабильных форм ГК является отрицательным явлением, снижает потенциал для нормального развития растительности и в целом снижает экологическую устойчивость почв.

Оптическая плотность гуминовых кислот (ГК) используется в исследованиях для характеристики их молекулярного состава и степени гумусовой трансформации. Гуминовые кислоты делятся на две фракции: ГК1 (стабильные) и ГК2 (неустойчивые). Измерение оптической плотности позволяет определить концентрацию этих кислот в почве, что отражает уровень их стабилизации и степень взаимодействия с минералами почвы. ГК1 с высокой оптической плотностью указывает на более стабильные формы, которые улучшают структуру и водоудерживающую способность почвы, в то время как ГК2 характеризуются высокой биологической активностью, что важно для питания растений и микробной активности^[93].

Что касается оптической плотности ГК то обе фракции (первая и вторая) характеризуются несколько более высокой оптической плотностью (таблица 8) по сравнению с зональными дерново-подзолистыми почвами^[94].

Таблица 8. Оптическая плотность ГК городских почв

№/п	E _c мг/мл	
	ГК1	ГК1+2
1. Площадь стачек	7,7	9,5
2. Стачек 5 под старыми деревьями	7,2	7,7
3. Стачек 11 газон перед перекрестком	9,0	10,0
4. Стачек 23 у перекрестка с Трефолева	10,2	11,1
5. Стачек 27(25) за перекрестком с Трефолева	9,2	11,2
6. Стачек 29	8,5	8,6
7. Стачек 35 из-под старых деревьев	8,7	10,0
8. Стачек 45 за ЗАГС 50 м от Стачек старые деревья	9,0	9,3
9. Под ЗСД насыть ж/д ближе в Стачек	9,1	10,1
10. Комсомольская площадь	10,2	10,6
11. Сад 9 января	11,4	12,5

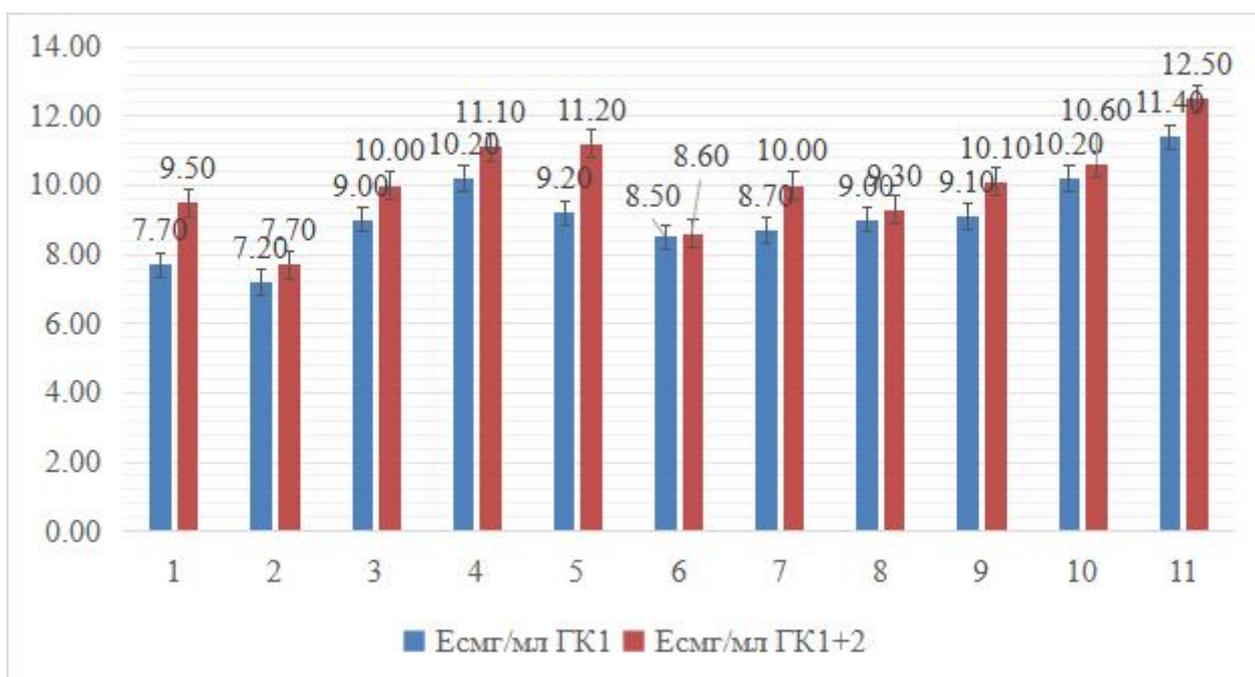


Рис 15 анализ оптической плотности гуминовых кислот

Сад 9 января имеет самую высокую оптическую плотность, 11,4мг/мл для ГК1 и 12,5мг/мл для ГК1+2. Стачек 5 под старыми деревьями имеет самую низкую оптическую плотность, 7,2мг/мл для ГК1 и 7,7мг/мл для ГК1+2. Доля ГК1 выше, чем доля ГК2 во всех местах.

Кроме того, различий между величинами оптической плотности фракций также не наблюдается. Это свидетельствует о формировании стабилизированной фракции ГК за счет значительных количеств кальция в почвенном растворе, а не за счет высокой биологической активности почв^[95].

3.4. Оценка уровня загрязнения почв проспекта Стачек тяжелыми металлами

Принимая во внимание классификацию степени вредности тяжелых металлов по ГОСТ 17.4.1.02-83^[96](Таблица 9), в нашем исследовании мы выбрали в качестве объектов изучения 5 распространенных элементов тяжелых металлов, которые часто упоминались в качестве загрязняющих веществ в городских почвах^[95].

Таблица 9. степень опасности тяжелых металлов и металлоидов (по ГОСТ 17.4.1.02-83)

Опасность	Элементы
Высокая	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn

Умеренная	Co, Ni, Mo, Cu, Cr (?), Sb
Малая	Ba, V, W, Mn, Sr
неизвестна	Ge, Sn, Ce, La, Bi, Y, Rb, Cs и др

Согласно стандарту ГНУ 2.1.7.2041-06, предельно допустимые концентрации (ПДК) выбранных нами элементов для почв с рН выше 6,0, следующие (Таблица 10)^[97].

Таблица 10. ПДК ТМ в почвах (Большаков и др., 1999)

химическое вещество	ПДК п, мг/кг
кадмий (Cd)	2
медь (Cu)	3
никель (Ni)	4
свинец (Pb)	32
цинк (Zn)	23

Для характеристики экологического состояния городских почв нами были изучены концентрации тяжелых металлов (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn) в подвижной форме (экстракция аммонийно-ацетатным буфером с рН 4,8). Определения проводились в Ресурсном центре "Магнитно-резонансные методы исследования" в Научном парке СПбГУ (таблица 11).

Таблица 11. Содержание тяжелых металлов в городских почвах, мг/кг

№	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
1	0.14	37.17*	1.68	84.00	13.65
2	0.20	24.78	1.64	31.68	8.31
3	0.14	37.52	1.88	81.92	13.89
4	0.41	25.48	1.56	124.64	27.36
5	0.13	7.14	2.88	123.20	12.06
6	0.41	21.63	2.20	37.92	22.14
7	0.36	6.09	2.24	90.24	5.82
8	0.36	15.26	1.48	93.44	15.54
9	0.48	7.98	3.32	32.80	22.20
10	0.11	14.00	1.80	138.24	7.44
11	0.08	10.29	1.36	108.32	5.25

* жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Сравнивая полученные значения с ПДК тяжелых металлов в почве, можно отметить следующее.

Содержание кадмия и никеля в исследованных почвах не превышало ПДК.

Содержание меди превышало норму во всех исследованных почвах, а в образцах № 1-4 и № 6 превышало норму более чем в 7 раз. Медь является относительно стабильным микроэлементом в почвах, а ее подвижность – одна из самых низких среди всех микроэлементов^[98].

Содержание свинца также превышало норму практически во всех исследованных почвах. Содержание этого токсичного элемента в 2-4 раза выше ПДК, за исключением образцов № 2, 6 и 9, где содержание свинца находилось на уровне ПДК или превышало ее незначительно.

И, наконец, содержание цинка превышало норму только для образца № 4, а образцы № 6 и № 9 приближались к пороговому значению ПДК.

Индекс загрязнения почв (ИЗП) – это ориентир, который мы использовали при оценке уровня загрязнения почв на проспекте Стачек (Богданов, 2014).

Формула для расчета ИЗП имеет вид:

$$\textcircled{1} P_i = C_i / S_i$$

$$\textcircled{2} P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i / P_i$$

Где P_i – индекс загрязнения для одного загрязнителя;

P – комбинированный индекс загрязнения для нескольких загрязнителей;

C_i – измеренная концентрация загрязнителя i в почве;

S_i – критерий оценки загрязнителя i ;

n – количество видов загрязнителей.

Если значение ИЗП больше 1, то почва диагностируется как «загрязненная почва», и чем выше это значение, тем большее загрязнение здесь представлено.

Таблица 12. Коэффициенты ИЗП для меди, цинка, никеля, свинца и кадмия

№	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	ИЗП
1	0.070	12.390*	0.420	2.625	0.593	3.220

2	0.100	8.260	0.410	0.990	0.361	2.024
3	0.070	12.507	0.470	2.560	0.604	3.242
4	0.205	8.493	0.390	3.895	1.190	2.835
5	0.065	2.380	0.720	3.850	0.524	1.508
6	0.205	7.210	0.550	1.185	0.963	2.023
7	0.180	2.030	0.560	2.820	0.253	1.169
8	0.180	5.087	0.370	2.920	0.676	1.846
9	0.240	2.660	0.830	1.025	0.965	1.144
10	0.055	4.667	0.450	4.320	0.323	1.963
11	0.040	3.430	0.340	3.385	0.228	1.485

Согласно результатам расчетов ИЗП (Таблица 12), ИЗП во всех образцах почв превышал 1,0, что говорит о том, что эти образцы почвы, собранные на территории проспекта Стачек и в его окрестностях, получили высокий и очень высокий уровень загрязнения тяжелыми металлами. Причем, из-за серьезного превышения содержания меди, индекс загрязнения медью образцов 1 и 3 достиг 12,4 и 12,5, что сделало их итоговые комплексные индексы тоже очень высокими: 3,22 и 3,24, соответственно.

3.5. Результаты определения токсичности почв

Биологическое тестирование является одним из важнейших методов оценки экологического состояния и качества почвы. Все больше специалистов и ученых постоянно совершенствуют и улучшают метод биотестирования^[99]. Методы биотестирования могут быть использованы для обобщенной оценки влияния загрязнения на живые организмы, позволяя увидеть не только воздействие отдельных веществ на окружающую среду, но и комплексный результат. Таким образом, мы можем увидеть результат, подобный математической модели (синергетические и антагонистические эффекты), который был вызван рядом различных факторов. Аналитические химические методы не могут выявить подобные эффекты.

В городах, особенно в мегаполисах, тяжелые металлы и нефтепродукты являются основной причиной экологического воздействия на городские почвы. В свою очередь, в некоторых видах антропогенной деятельности, обслуживающей социальную жизнь человека, используются продукты, которые также могут быть источником загрязнителей почвы (антигололедные реагенты, снеготаяние, пестициды, гербициды и удобрения, различные полиароматические углеводороды и т.д.)^{[100][79][101]}. Физико-химические методы,

хотя и позволяют дать количественную оценку почвенных показателей, не дают комплексного, конкретного и наглядного представления о влиянии загрязнения почвы на организмы и окружающую среду. Поэтому для суждения о состоянии городских почв, их токсичности и пригодности для произрастания газонной растительности используют метод фитотестирования (ФТ)^{[102][103]}. А также методы биотестирования являются относительно недорогими и эффективными.

ФТ проводилось на семенах обычной пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в водной вытяжке из почвы, соотношение почвы и воды составляло 1:10, в качестве контроля использовалась дистиллированная вода. Семена инкубировали в термостате (25,8°C) в течение 4 дней, затем извлекали и инкубировали на свету при комнатной температуре (22±2°C) в течение 3 дней и измеряли длину корней и зеленой части. Повторность опыта была 3-кратная^[104].

Результаты проведенного ФТ городских почв представлены в Приложение 1.



Рис 16 Всхожесть, %к контролю:

К – контроль, 1 – площадь Стачек, 2 – пр. Стачек, №21/23, 3 – пр. Стачек, №27/29, 4 – пр. Стачек, №35, 5 – Комсомольская площадь

Результаты эксперимента (рис. 15) показали, что всхожесть семян пшеницы варьировала от 58,6% до 113,8%. Наиболее значительное снижение всхожести (ниже 80%) по сравнению с контролем наблюдалось в образцах №5, 7, 8 и 11.

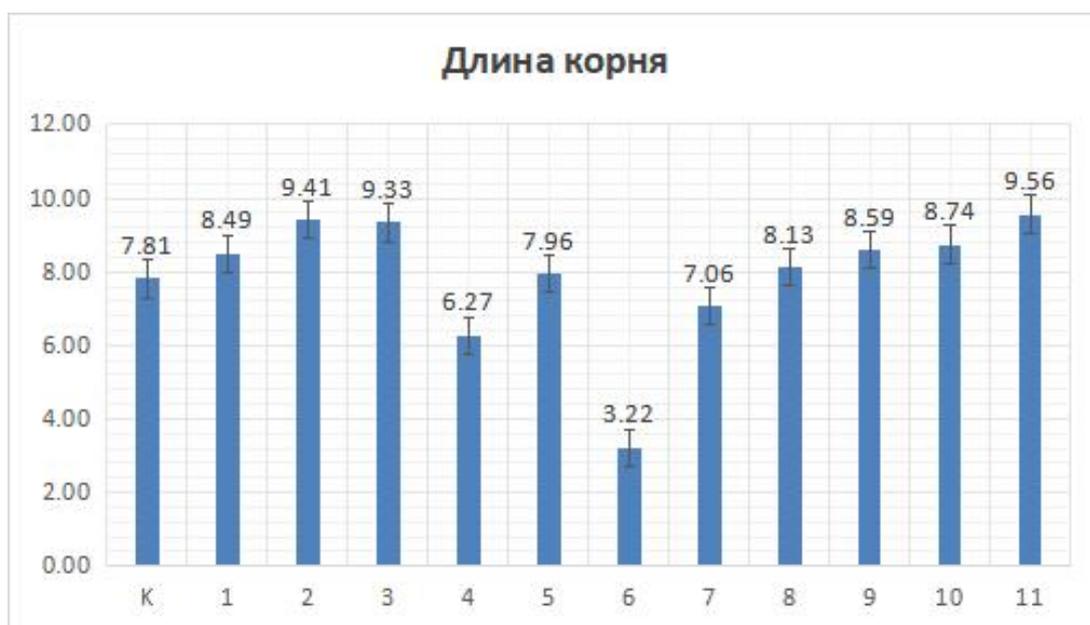


Рис 17 длина корня (см):

К – контроль, 1 – площадь Стачек, 2 – пр. Стачек, №21/23, 3 – пр. Стачек, №27/29, 4 – пр. Стачек, №35, 5 – Комсомольская площадь

В меньшей степени токсичность почв проявилась на определении длины корней (Рис. 16). Два образца (6 и 7) показали снижение длины корней по сравнению с контролем, в то время как остальные образцы показали даже увеличение длины корней.

Еще в меньшей степени по сравнению с контрольной группой токсичность проявилась, как и в случае с длиной корней, при измерении длины coleoptilia. Только в образцах № 6 и 7 наблюдалось уменьшение длины побегов, в то время как в других образцах, напротив, она увеличилась (Рис 17).

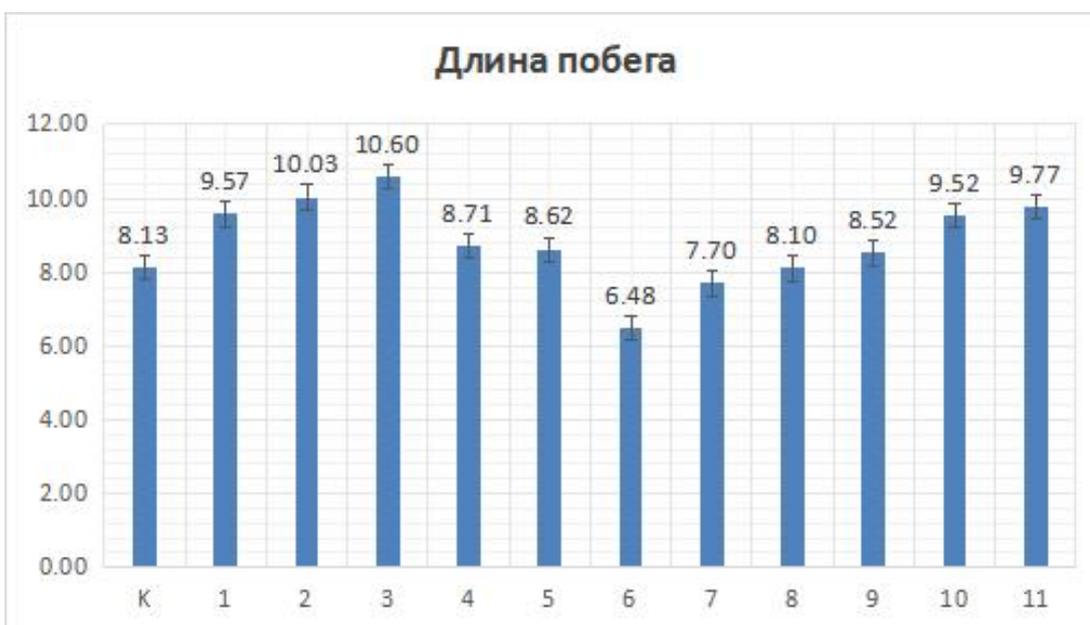


Рис 18. Длина побега (см):

К – контроль, 1 – площадь Стачек, 2 – пр. Стачек, №21/23, 3 – пр. Стачек, №27/29, 4 – пр. Стачек, №35, 5 – Комсомольская площадь

По правилам диагностировать токсичность почвы следует, даже если один из ряда параметров биотестов выявил токсичность^[79]. Среди наших образцов практически каждый показал наличие токсичности, хотя бы по одному из параметров ФТ (Приложение 1). Исключение составила почва №1 (газон на Комсомольской площади), почва которого была нетоксичной. Также следует отметить, что в почвах № 4, 6 и 7 наблюдалось значительное ингибирование прорастания и роста растений по двум и более тест-параметрам.

3.6 Результаты изучения биологической активности почв

Еще одной характеристикой экологического состояния городских почв может служить биологическая активность (БАП). О БАП можно судить по величине дыхания почвы. А также показателями БАП могут служить количественные характеристики численности и биомассы различных групп почвенной биоты, их продуктивность, активность основных процессов связанных с круговоротом элементов, ферментативная активность почв, количество и скорость накопления продуктов жизнедеятельности почвенных организмов^{[105][103]}.

Показатели БАП могут быть использованы при тестировании состояния почв. При загрязнении почв небольшими количествами органических соединений может наблюдаться возрастание некоторых показателей БАП вследствие интенсивного развития групп организмов участвующих в переработке субстратов. Если почвы загрязнены тяжелыми металлами, органическими соединениями происходит повышение токсического эффекта. В результате БАП снижается^{[142][106]}.

Дыхание почв может быть описано по величине выделения CO_2 . Чем более интенсивно происходит дыхание, тем лучше состояние почвы. Дыхание почвы является вариабельной величиной, которая зависит от множества факторов, таких как температура, влажность, состояние фитоценоза, поэтому при проведении определения биологической активности следует проводить сравнение этого показателя на разных точках в близких условия^{[142]103}.

Базальное дыхание почвы – важный экосистемный процесс и один из наиболее распространенных и важных показателей микробиологического состояния почвы. Это

связано с тем, что количество углекислого газа, выделяемого в единицу времени, является комплексным выражением информации о различных биохимических процессах, разложении и трансформации веществ в почве^[65].

В своих исследованиях мы использовали для оценки БАП метод Головкин – это метод определения количества углекислого газа, выделяемого почвой в лабораторных условиях. Чтобы определить потенциальную дыхательную способность почвы для стимуляции активности микроорганизмов, в почву добавляют глюкозу в качестве энергетического субстрата. Показателем БАП является максимальное количество углекислого газа, которое почва может произвести за единицу времени. Прямое дыхание почвы и максимальное дыхание почвы измеряли отдельно в течение 24 ч при комнатной температуре ($22\pm 2^\circ\text{C}$). Эксперимент повторяли 3 раза для каждого образца.

Результаты изучения БАП приведены на рисунке 16. Как видно из полученных данных, актуальная БАП, характеризуемая базальным дыханием, во всех исследованных городских почвах, кроме №2 и 10, в целом, невелика. Наименьшее продуцирование CO_2 наблюдается в образцах №6,8 и 9.

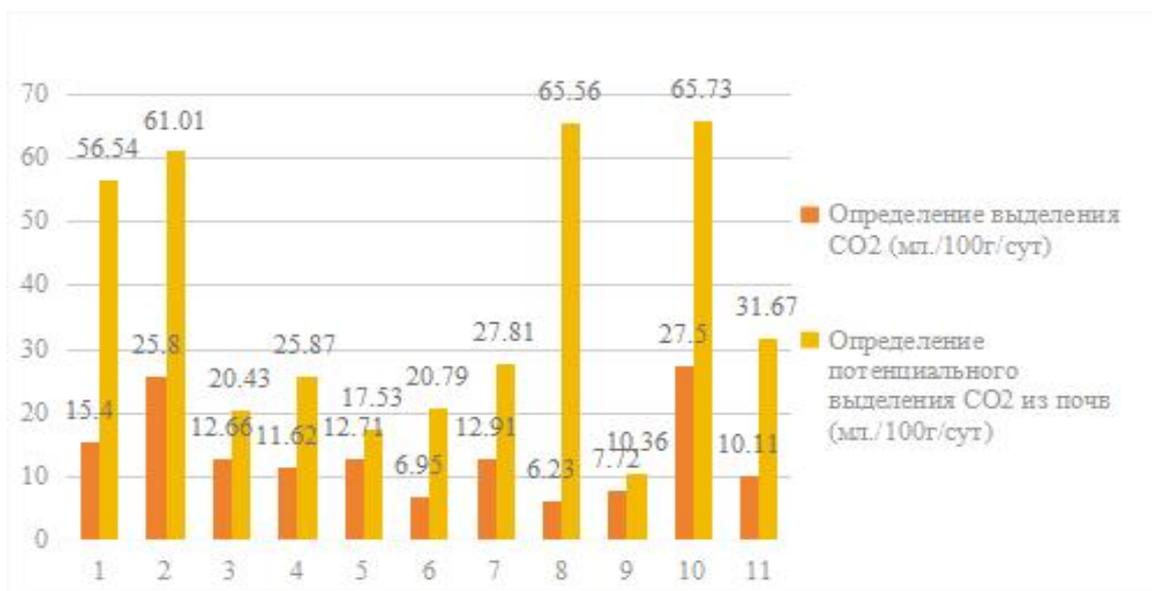


Рис 19. Базальное и потенциальное дыхание городских почв

При добавлении в почву глюкозы наблюдалось закономерное увеличение показателей БАП. Однако необходимо отметить, что в некоторых образцах городских почв была зафиксирована крайне большая разница между актуальной и потенциальной БАП. В образцах почвы №1, 2, 10 и 11 дыхание различалось в 2,5-4,0 раза, а в образце №8 – более чем в 10 раз. Это может рассматриваться как негативная ситуация и указывает на недостаток лабильных (доступных для МО) органических веществ в почве и/или на

невысокую численность микроорганизмов в данной почве. Также можно отметить, что микробоценозы почв № 3, 5 и 9 практически не отреагировали на внесение глюкозы, что может указывать на подавленное состояние микрофлоры в данных почвах. При этом надо отметить, что одним из наиболее неблагоприятным в микробиологическом отношении является образец №9, в котором наблюдались наименьшие значения как актуальной, так и потенциальной БАП.

3.6. Исследование типов растительности и растительного покрова на почвах проспекта Стачек

Анализ видов растений проспекта Стачек осуществлялся с помощью платформы Plantnet, и визуальные сравнения: <https://identify.plantnet.org/ru>

На проспекте Стачек были отмечены следующие виды древесных растений (7 видов):

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. <i>Populus nigra</i> | 5. <i>Ulmus laevis</i> |
| 2. <i>Acer platanoideas</i> | 6. <i>Acer negundo</i> |
| 3. <i>Tilia cordata</i> | 7. <i>Sorbus aucuparia</i> |
| 4. <i>Picea pungens Engelm</i> | |

На проспекте Стачек были отмечены следующие виды кустарников (3 вида):

1. *Syringa vulgaris*
2. *Cotoneaster lucidus*
3. *Rósa rugósa*

На проспекте Стачек были отмечены следующие виды травянистых растений (55 видов):

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. <i>Achillea millefolium</i> | 13. <i>Atriplex sagittata</i> |
| 2. <i>Aegopodium podagraria</i> | 14. <i>Avenélla flexuósa</i> |
| 3. <i>Agrostis capillaris</i> | 15. <i>Barbarea arcuata</i> |
| 4. <i>Alchemilla vulgaris</i> | 16. <i>Búnias orientális</i> |
| 5. Ахиллея тысячелистная | 17. <i>Calamagrostis epigeios</i> |
| 6. Эгеоподиум готагария | 18. <i>Capsella bursa-pastoris</i> |
| 7. Агростис капиллярный | 19. <i>Centaurea jacea</i> |
| 8. Алхемилла обыкновенная | 20. <i>Chamomilla suaveolens</i> |
| 9. <i>Anthriscus sylvéstris</i> | 21. <i>Chenopodium album</i> |
| 10. <i>Arctium tomentosum</i> | 22. <i>Chenopodium rubrum</i> |
| 11. <i>Artemisia vulgaris</i> | 23. <i>Cirsium arvense</i> |
| 12. <i>Atriplex latifolia</i> | 24. <i>Dactylis glomerata</i> |

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 25. <i>Elytrigia repens</i> | 43. <i>Poa pratensis</i> |
| 26. <i>Equisétum arvéense</i> | 44. <i>Polygonum aviculare</i> |
| 27. <i>Festuca pratensis</i> | 45. <i>Potentilla anserina</i> |
| 28. <i>Festuca rubra</i> | 46. <i>Ranúnculus aurícomus</i> |
| 29. <i>Galium album</i> | 47. <i>Ranunculus cassubicus</i> |
| 30. <i>Geum urbanum</i> | 48. <i>Ranunculus repens</i> |
| 31. <i>Glechoma hederacia</i> | 49. <i>Rúmex longifólius</i> |
| 32. <i>Heracléum sibíricum</i> | 50. <i>Silene alba</i> |
| 33. <i>Hierácium umbellátum</i> | 51. <i>Stellaria media</i> |
| 34. <i>Lámium álbum</i> | 52. <i>Taraxacum officinale</i> |
| 35. <i>Lerchenfêldia flexuósa</i> | 53. <i>Trifolium pratense</i> |
| 36. <i>Leucanthemum vulgare</i> | 54. <i>Trifolium repens</i> |
| 37. <i>Lolium perenne</i> | 55. <i>Tripleurospermum inodorum</i> |
| 38. <i>Matricaria chamomilla</i> | 56. <i>Urtica dióica</i> |
| 39. <i>Matricaria inodora</i> | 57. <i>Veronica chamaedrys</i> |
| 40. <i>Medicago minima</i> | 58. <i>Verónica serpyllifólia</i> |
| 41. <i>Phleum pratense</i> | 59. <i>Vicia crácca</i> |
| 42. <i>Plantago major</i> | |

Описания растительности показали, что одуванчик лекарственный и мятлик луговой наиболее широко распространены и присутствовали в девяти местах, а бодяг луговой, спорыш (горец птичий) и подорожник большой также часто встречались и были замечены в четырех местах.

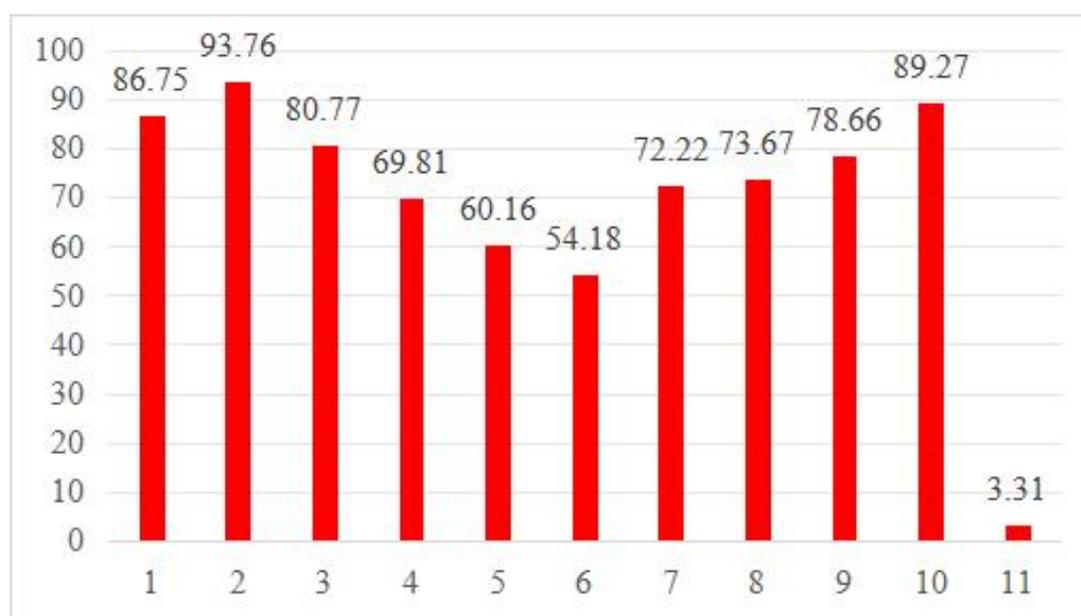


Рис. 20. Проективное покрытие растений на каждом участке отбора проб

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическое состояние городских почв в данной работе оценивали по совокупности параметров растительности, биологической активности, фитотестирования, качества гумуса и степени загрязнения ТМ.

Сотрудниками лаб. МиОТЛ НИЦЭБ РАН с 1993 по 1997 гг. и студенткой кафедры агрохимии СПбГУ А.И. Безделигиной в 2011 г. проводился мониторинг экологического состояния почв газонов пр. Стачек^{[107][69][108]}.

Сравнение полученных ранее результатов с нашими данными позволило выявить следующие закономерности.

- гидролитическая кислотность обследованных почвах несколько снизилась;
- насыщенность поглощенными основаниями осталась по-прежнему очень высокой;
- соотношение углерода и азота снизилось (кроме почвы сквера на пр. Стачек, 45);
- продолжилось увеличение содержания фосфора на всех участках (кроме почвы газона на пр. Стачек, 27(25) за перекрестком с Трефолева);
- уровень калия значительно повысился (в особенности, в почвах газонов на пр. Стачек, 29 и пр. Стачек, 35);
- несколько увеличилась доля супесчаных почв;
- актуальная биологическая активность почв изменилась незначительно, в то время как потенциальная биологическая активность почв существенно возросла, что говорит о недостатке свежего органического субстрата в обследованных почвах;
- тип гумуса почв пр. Стачек остался фульватно-гуматным, а в составе гумуса преобладает НО;
- в составе ГК отмечены определенные изменения, выявлено значительное снижение доли лабильных ГК и преобладание в составе устойчивых форм ГК;
- содержания всех тяжелых металлов существенно увеличилось;
- все обследованные городские почвы (кроме почвы газона на площади Стачек) по-прежнему проявили фитотоксичность;
- однако, на обследованных газонах и скверах определено большее разнообразие растений.

Обобщая полученные результаты, можно отметить, что общее экологическое состояние обследованных почв за 1993-2023 годы несколько улучшилось, что, вероятно связано с изменением транспортной нагрузки на проспект Стачек. Однако, в целом, экологическое состояние исследованных городских почв остается неблагоприятным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Галич З. Н. Урбанизация и мегаполизация как глобальный процесс (обзор) // ЭСПР. 2000. №1.
- [2] А. В. Коротаяев, Л. Е. Гринин. Урбанизация и политическое развитие Мир-Системы: сравнительный количественный анализ // История и математика. 2007. Дата обращения: 4 мая 2012. Архивировано 5 июня 2012 года. будет проживать 70 % населения планеты.
- [3] Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2017 года (31 июля 2017).
- [4] Таблица 10. Группировка городских населенных пунктов по численности населения по субъектам Российской Федерации. Итоги Всероссийской переписи населения 2020 года. На 1 октября 2021 года. Том 1. Численность и размещения населения (XLSX).
- [5] Перейти обратно: 1 2 Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2023 года (с учётом итогов Всероссийской переписи населения 2020 г.). Федеральная служба государственной статистики (18 августа 2023).
- [6] Информационный портал города Йошкар-Олы. Поддержка и модернизация ООО "ИнтраСиб". Городские почвы и загрязнение почвенного покрова. Дата изменения: 15.01.2024. https://i-ola.ru/city/ecologia/env_problems/urban_soil_pollution.php
- [7] Современный город как социо-эко пространство: проблемы и перспективы / Н. А. Васильева // Восточно-Европейский научный журнал. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 138-104 141. – EDN VATOQJ.
- [8] Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М.: Издательство МГУ, 1986. 136с.
- [9] Курбатова А.С. Ландшафтно-экологический анализ формирования градостроительных структур. – Москва-Смоленск: Маджента, 2004. – 400 с
- [10] Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 415 с.
- [11] Апарин, Б. Ф. Методологические основы классификации почв мегаполисов на примере Г. Санкт-Петербурга / Б. Ф. Апарин, Е. Ю. Сухачева // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2013. – № 2. – С. 115-122. –EDN QSTQOR.
- [12] Чуков, С. Н., & Яковлев, А. С. (2019). Категории почвы и земли в современном законодательстве России. ПОЧВОВЕДЕНИЕ, (7), 891-898
- [13] Земляницкий, Л.Т., Особенности городских почв и грунтов // Почвоведение, 1963. № 5. - С. 75--84
- [14] Урбоэкология: Конспект лекций / В. В. Владимиров; Междунар. независимый экол.-политол. ун-т. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. - 202, с.: ил., карт.; 20 см.; ISBN 5-7383-0079-3
- [15] Гумусовые горизонты почв урбоэкосистем / Б. Ф. Апарин, Е. Ю. Сухачева, А. М. Булышева, М. А. Лазарева // Почвоведение. – 2018. – № 9. – С. 1071-1084. – DOI

10.1134/S0032180X18090010. – EDN XWMXXN.

[16] Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Почвенная карта – основа интегральной оценки экологического пространства мегаполиса // Материалы конференции «Нерешенные проблемы климатологии и экологии мегаполисов». – СПб., 2013. – С. 5–10.

[17] Строганова, М.Н., Городские почвы: генезис, классификация, экологическое значение (на примере г. Москвы). Автореф. Дис ...доктора биол. наук. - М., 1998. -71 с.

[18] Urban Soil Degradation and Its Impacts on Urban Environmental Quality Gan-Lin Zhang*, Jin-Ling Yang, Yu-Guo Zhao State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008

[19] Gan Zhimao, Sun Hu, Guo Liyu. Development and urban soil erosion in the western part of China and its prevention and control countermeasures--Taking the Loess Plateau area as an example [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2000, 28(3): 104-114.

[20] Chaplot V. , Coadou le Brozec E. , Silvera N. , Spa-tialand temporal assessment of linear erosion in catch-ments under sloping lands of northern Laos [J]. Catena, 2005, 63:167-184][Kong Zhenghong, Li Shuren, Li Youfu, et al. Effects of different hardened ground types on material cycling in urban Picea abies[J]. Journal of Henan Agricultural University, 1998, 32(4):314-319

[21] Wang Xiangdong, Kuang Shangfu, Wang Zhaoyin, et al. Effects of urbanisation and mining on soil erosion and environment [J]. Sedimentation Research , 2000(6):9-45

[22] Классификация почв России 2004 г (КиДПР, 2004)

[23] World Reference Base for Soil Resources (WRB), 2014

[24] Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Классификация городских почв в системе российской и международной классификации почв. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015;(79):53-72

[25] Почва, город, экология /Под ред. Г.В. Добровольского. Москва. Фонд "За экологическую грамотность ность", 1997. 320с.

[26] Герасимова М.И., Строганова М.Н. и др. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: Учебное пособие / Под. ред. Г.В. Добровольского. Смоленск. Ойкумена, 2003. 268с.

[27] Nurulshyha Md Yatim, Nur Izzatul Afifah Azman, Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring at Different Air Quality Environment, Building Construction Management, Vol. 4, No. 10, 2022

[28] Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. загрязнение почв тяжелыми металлами. способы контроля и нормирования загрязненных почв. Учебно-методическое пособие для вузов. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. 2009

[29] SONG Mian, GONG Lei, WANG Yan, TIAN Da-zheng, WANG Xin-feng, LI Yue, LI Wei. Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil on Human Health in Fuping County, Hebei Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2022, 41(1): 133-144. doi: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.202109290135

[30] Экологическая экспертиза жизненного пространства человека. центр экологических экспертиз. ULR: <https://ekoex.ru/osnovnye-funkcii-pochvy/>

[31] Кожевин П. А. Микробные популяции в природе Архивная копия от 13 сентября

2018 на Wayback Machine. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989.-175 с.- ISBN 5-211-00462-0

[32] Почва и компост. - М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, Изд-во Лик пресс, Московская с/х Академия им. Тимирязева, 2001.-144с

[33] Ананьева Н.Д., Полянская Л.М., Стольникова Е.В., Звягинцев Д.Г. Соотношение биомассы грибов и бактерий в профиле лесных почв // Известия РАН. Серия Биологическая. 2010. № 3. С. 308-317.

[34] Chapin III, F Stuart & Matson, P.A. & Mooney, Harold. (2002). Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. 10.1007/978-1-4419-9504-9.

[35] Даринский А. В. География Ленинграда. — Л.: Лениздат, 1982. — С. 21—29.

[36] Ученые выяснили, что было на месте Петербурга до его постройки. РИА Новости. Дата обращения: 10 апреля 2023.

[37] Татарникова В.Ю., and Дашиева О.. "Древесные растения и городская среда" Актуальные проблемы лесного комплекса, no. 23, 2009, pp. 191-194

[38] Климат Санкт-Петербурга. // Погода и климат.

[39] Архив погоды в Санкт-Петербурге за 19 мая 2014 года.

[40] Петербург в цифрах. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. Дата обращения: 19 февраля 2013.

[41] Ленинград: Историко-географический атлас. — М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1981.

[42] Климат, погода в Санкт-Петербурге. // Petrohol.ru.

[43] Администрация Санкт-Петербург: Официальный сайт.
<https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/kki/provedenie-inventarizacii-territorij-znop/pokazateli-obesp-echennosti-territoriyami-zelenyh-nasazhdenij/>

[44] Данные, полученные из базы данных “PictureThis”. URL:
<https://www.picturethisai.com/ru/region/Russia-Sankt-Peterburg-Kolpino.html>

[45] Рейтинг районов Санкт-Петербурга по качеству жизни. Эксперт OnLine. expert.ru (8 августа 2017). Дата обращения: 8 августа 2017.

[46] cottagesspb.ru <https://78.house/wiki/ehkologija-sankt-peterburga/>

[47] lenexpo.ru <https://www.cottagesspb.ru/ekologiya/sankt-peterburga/>

[48] С.Тихоновой. Тяжелые металлы в городских почвах. Специалист ФГБУ «Приволжское УГМС». 2012

[49] Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова В. В. Тяжелые металлы и растения. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. — С. 7. — 194 с. — ISBN 978-5-9274-0641-8

[50] Реймерс Н.Ф. Природопользование : слов.-справ. / Н.Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 638 с.

[51] Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.

[52] Казанцев Иван Викторович, Матвеева Татьяна Борисовна Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // СНВ. 2016. №1 (14).

[53] GuoGH, LeiM, ChenTB, etal. 2008. Effectof road trafficonheavymetals in

roaddustsand roadside

[54] GuoGH, LeiM, ChenTB, etal. 2008. Effectof road trafficonheavy metals in roaddustsand roadside soils[J].ActaScientiaeCircumstantiae,28 (10):1937-1945

[55] Пугин Константин Георгиевич, Вайсман Яков Иосифович, Бояршинов Михаил Геннадьевич Математическое моделирование эмиссии тяжелых металлов в водные объекты из строительных материалов, полученных на основе отходов производства // Вестник МГСУ. 2016. №1.

[56] Gaofeng Wu, Lili Wang, Ran Yang, Wenxing Hou, Shanwen Zhang, Xiaoyu Guo, Wenji Zhao, Pollution characteristics and risk assessment of heavy metals in the soil of a construction waste landfill site, Ecological Informatics, Volume 70, 2022, 101700, ISSN 1574-9541

[57] Информационно-справочная система по классификации почв России v1.0 (2004). <http://infooil.ru/index.php?pageID=clas04mode>

[58] Нежиховский Р. А.. Река Нева и Невская губа. — Л.: Гидрометеиздат, 1981

[59] Запись в Википедии - "Кировский район (Санкт-Петербург)".

[60] Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебник /Под. ред. В.Т. Трофимова. Москва, Изд-во МГУ, 1995. 272с.

[61] Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. – М.: Академич. Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.

[62] Сизов А.П. Мониторинг и охрана городских земель. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. – 264 с.

[63] ЗК РФ Статья 67. Государственный мониторинг земель. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/0b2b2f4d1871a081e0da8f1ff95bab2f1fecda1a/

[64] Экологические функции городских почв /Под. ред. А.С. Курбатовой. Москва-Смоленск: Маджента, 2004. 232с.

[65] Закон г. Москвы от 4 июля 2007 г. № 31 «О городских почвах».

[66] Проспект Стачек / Автор-составитель О. С. Гринцевич. — Л.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. — 25 с. — (Архитектурные ансамбли Ленинграда)

[67] Карпущенко В. М. Проспект Стачек. — Л.: Лениздат, 1978. — 112 с. — (Прогулки по Ленинграду).

[68] probki-spb.ru <https://probki-spb.ru/ulici-stachek-prospekt.html>

[69] 21А. Бакина Л.Г., Орлова Н.Е., Капелькина Л.П., Бардина Т.В. Гумусовое состояние городских почв Санкт-Петербурга /Гумус и почвообразование. СПб. 1999. С. 26-30.

[70] Горбачевич К. С., Хабло Е. П. Почему так названы?: О происхождении названий улиц, площадей, островов, рек и мостов Ленинграда. — 3-е изд., испр. и доп. — Л.: Лениздат, 1985. — С. 166. — 511 с.

[71] Н. Н. Веснина Сад в память жертв расстрела 1905 года // История Петербурга: журнал. — 2007. — № 1 (35). С. 54 — 59

[72] межгосударственный стандарт.охрана природы. Почвы, методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

Мкс 13.080. Гост 17.4.4.02-2017

[73] Крейер К. Г., Банкаина Т. А., Орлова Н. Е., Юрьева Г. М. Практикум по агрохимическому анализу почв. СПбГУ, 2005. 88 с.

[74] Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Агрохимия» для студентов очной формы обучения направления подготовки 250700.62 «Ландшафтная архитектура» – Н. Новгород, ННГАСУ, 2014. – 48с.

[75] ГОСТ 28268-89. Группа С09. "Почвы. Методы определения влагоемкости, максимальной гигроскопической влагоемкости и устойчивости к завяданию растений" МКС 13.080.40. ОКСТУ 0017. <https://docs.cntd.ru/document/1200023556>.

[76] Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета. 1970. 488с.

[77] Бельчикова Н.П. Определение гумуса почвы по методу Тюрина // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – С. 44-51.

[78] Орлова Н.Е., Бакина Л.Г., Орлова Е.Е. Методы изучения содержания и состава гумуса. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2007. - 145 с.

[79] Орлова Е.Е., Банкаина Т.А., Орлова Н. Е., Лабутова Н. М., Банкин М.П., Яконен Л.К. Практикум по агроэкологии: Учеб.пособие. СПб.: Изд-во С.-петерб. Ун-та, 2011.-148с.

[80] Головкин Э.А. О методах изучения биологической активности торфяных почв//Микробиологические и биохимические исследования почв: Мат.науч. конф. по методам микробиол. и биохим. исследований почв. Киев, 28-31 октября 1971. Киев: Урожай, 1971. С. 68-76

[81] Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней и проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв (ФР.1.39.2006.02264 М-П-2006)

[82] Терехова, В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле / В.А. Терехова // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №1 (91). – С. 88–90

[83] Чугунова М.В. Оценка биологического состояния дерново-подзолистой почвы, загрязненной различными дозами нефти /Сб.науч.тр. Гумус и почвообразование. СПб, 2005. С. 191-196.

[84] Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Демин В.В. О возможной природе биологической активности гуминовых веществ // Почвоведение, 2018, №9, с.1099-1107

[85] Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута // Почвоведение, 2013, №2, с. 240-248.

[86] Герке К.М., Скворцова Е.Б., Корост Д.В. Томографический метод исследования порового пространства почв: состояние проблемы и изучение некоторых почв России // Почвоведение. 2012. № 7. С. 781–791.

[87] Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.

[88] Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.

[89] Кузьменко Наталья Николаевна ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ СИСТЕМ

УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ // Вестник РГАТУ. 2019. №1 (41).

[90] Wu Q., Blume H. P., Beyer L., Schleub U. Method for characterization of inert organic carbon in urban soils // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1999. V. 30. P. 1497–1506.

[91] Burghardt W. Soil in urban and industrial environments. Zeitschrift Pflanzenernähr. Dung, Bodenkunde. 1994. V.157. P. 205–214.

[92] А.И. Безделикина. Экологическое состояние почв Кировского района Санкт-Петербурга. 2012.

[93] А.И. Филатова, В.Г. Мамонтов ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ, ОПТИЧЕСКИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ В ПОЧВАХ СЕВЕРНОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО ОКРУГА г. МОСКВЫ // Агрохимический вестник. 2021. №1.

[94] Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы. Дричко В.Ф., Бакина Л.Г., Орлова Н.Е. Почвоведение. 2013. №° 1. С. 41.

[95] Большаков В.А., Водяницкий Ю.Н., Борискина Т.И., Кахнович З.Н. Мясников В.В. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 31с.

[96] ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Дата актуализации: 01.01.2021. ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

[97] Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре // Геохимия. 1956. Т. 1. №. 6. С. 6–52.

[98] Л. В. Цаценко. Биологическое тестирование почвы: метод указания к изучению дисциплины. сост. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 39 с.], [Тишин А.С., Тишина Ю.Р. МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ПОЧВ: ОБЗОР // МНИЖ. 2021. №11-2 (113).

[99] Биотестирование в системе локального экологического мониторинга городских почв (на примере г. Санкт-Петербурга). Бардина Т. В. // почвенные ресурсы северо-запада России: их состояние, охрана и рациональное использование: Материалы Межрегиональной научно- практической конференции – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2008. С. 77-82.

[100] Капелькина Л.П. Нормирование загрязняющих веществ в почвах мегаполиса // Охрана окружающей среды и природопользование. №4. 2011. С.12-19.

[101] Лихачев, С.В. Биотестирование в экологическом мониторинге: учебно-методическое пособие / С.В. Лихачев, Е.В. Пименова, С.Н. Жакова

[102] Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2020 – 89 с.

[103] Экологический мониторинг: Учебное пособие / Под ред. Т.Я. Ашихминой Москва. Альма Матер. 2008. 416с., Орлова, Банкина... Практикум по агроэкологии

[104] Орлова Н.Е., Бакина Л.Г., Орлова Е.Е. Методы изучения содержания и состава гумуса. СПб. Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2007. 145с.

[105] Бардина Т.В., Чугунова М.В., Кулибаба В.В., Бардина В.И. Оценка экологического состояния почвогрунтов объектов прошлого экологического ущерба

методами биотестирования // Проблемы региональной экологии. 2014, №5, С. 347-41

[106] Орлова Н.Е., Бакина Л.Г. Теоретические аспекты гумусового состояния почв /Гумус и почвообразование: сборник научных трудов СПбГАУ. СПб. 1998. С. 20-25.

[107] Безделигина А.И. Экологическое состояние почв Кировского района Санкт-Петербурга. 2012.

[108] Безделигина А.И. Экологическое состояние почв Кировского района Санкт-Петербурга. 2012.

ПРИЛОЖЕНИЕ

№1: Площадь Стачек

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:6.5m



№2: пр. Стачек, №5

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:8.4m





№3: пр. Стачек, №9

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:8.1m



№4: пр. Стачек, №23

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:9.45m



№5: пр. Стачек, №25

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:16m



№6: пр. Стачек, №29

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:7.5m



№7: пр. Стачек, №35

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:11.7m



№8: пр. Стачек, №41

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:37m





№9: сад Кирьяново (грунтовый склон у железнодорожных путей)

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали:>50m

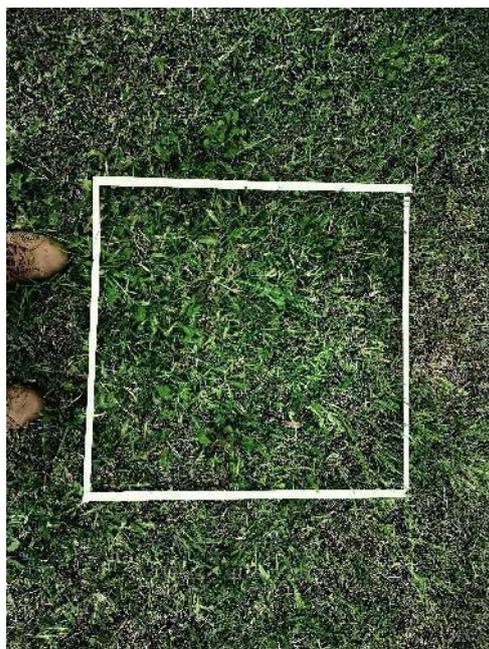




№10: Комсомольская площадь

Расстояние точки отбора проб от автомагистрали: 9.3m





с№11: Парк им. 9 января





Приложение 2. фитотоксичность исследованных городских почв: тест на прорастание

№	Всхожесть,%к контролю	Длина побега ,% к контролю	Длина корня ,% к контролю
контроль	100.00%	100.00%	100.00%
1	113.79%	117.48%	108.71%
2	89.66%	123.01%	120.49%
3	86.21%	130.06%	119.53%
4	96.55%	104.91%	80.28%
5	75.86%	105.83%	101.89%
6	89.66%	72.70%	41.23%
7	65.52%	94.48%	90.46%
8	58.62%	101.84%	104.03%
9	86.21%	104.60%	110.05%
10	96.55%	116.87%	111.91%
11	75.86%	119.94%	122.38%