



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему: Экологическое состояние земель Ботанического сада им. Петра Великого

Исполнитель

Слукина Александра Петровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Мухин Иван Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

« 16 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение	4
Глава 1 Антропогенное влияние на городские почвы.	6
1.1 Земельные ресурсы Санкт -Петербурга	6
1.2 Источники загрязнения тяжёлыми металлами	7
1.3 Содержание ТМ в почвах Санкт Петербурга	8
1.4 Содержание ТМ в Петроградском районе.....	11
Глава 2 История формирования Ботанического сада	14
Глава 3 Объекты и методы	17
3.1. Ботанический сад имени Петра Великого института им. В. Л. Комарова РАН	17
3.2. Растительность на территории Ботанического сада	18
3.3. Почва сада.....	21
3.4 Схема отбора образцов.....	24
3.5 Методики определения основных физических и химических свойств	25
3.5.1 Определение гранулометрического состава образцов почвы	25
3.5.2 Определение рН по методу ЦИНАО	25
3.5.3 Методика определения органического вещества	26
3.5.4 Методика определения общего азота	26
3.5.5 Методика определения подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО.....	27
3.5.6 Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов в пробах почвы	27
3.5.7 Методика оценки уровня химического загрязнения почв	27
Глава 4 Результаты.....	30

4.1. Содержание свинца в почве сада	30
4.2 Содержание цинка в почве сада.....	32
4.3 Содержание никеля в почве сада	33
4.4 Содержание меди в почве сада	35
4.5 Содержание марганца в почве сада	37
4.6 Содержание кобальта в почвах сада	38
4.7 Содержание кадмия в почве сада.....	40
4.8 Суммарный показатель загрязнения парка тяжелыми металлами.....	41
Глава 5 Рекомендации	43
Заключение	44
Список использованной литературы	45

Введение

Городские территории в связи с прогрессирующим ростом урбанизации активно включаются в исследования для решения экологических проблем. Пристальное внимание при этом уделяется почве – компоненту биосферы, выполняющему множество важных функций. При этом, городские почвы находятся под постоянным антропогенным давлением.

Являясь связующим звеном между атмосферой, зелеными насаждениями и грунтовыми водами, почвы оказывают определяющее воздействие на состояние окружающей среды и здоровье горожан. Именно в них происходит активное накопление загрязняющих веществ и их перенос в другие среды. Концентрация тяжелых металлов (ТМ) в почве часто является индикатором загрязнения исследуемой территории, так как они отрицательно влияют на жизнедеятельность живых организмов. Источником поступления ТМ в городские почвы чаще всего является автотранспорт.

Территории, покрытые растительностью: леса, парки, ботанические сады, скверы, озелененные территории около жилых районов служат для уменьшения негативного влияния на людей, живущих в городской среде. Они помогают уменьшить общую загрязнённость воздуха, снизить шумовое загрязнение, регулируют микроклимат и влажность воздуха, являются средой обитания для многих представителей животных и растений, а также являются местом, где жители могут отдохнуть или провести свободное время.

Особо остро стоит проблема загрязнения городских почв в Санкт-Петербурге, так как в городе находится большое количество предприятий и автомобильных дорог, находящиеся вблизи парков и садов. Поэтому, на сегодняшний день немаловажным становится наблюдение за состоянием и изменением зеленых сред городов.

Проведение почвенно-экологического мониторинга городских территорий помогает не только установить и оценить качество окружающей среды, но и спрогнозировать и предотвратить процессы, которые могут возникнуть из-за

действий антропогенных факторов. Поэтому, анализ экологического состояния земель Ботанического сада Петра Великого института им. В. Л. Комарова РАН является актуальной темой исследования.

Цель бакалаврской работы – анализ экологического состояния земель Ботанического Сада Петра Великого института им. В. Л. Комарова РАН.

Задачи:

1. Исследовать антропогенное влияние на почвы. Обзор литературных источников.
2. Изучить историю формирования Ботанического сада и его почв.
3. Определить химический состав и количественные и качественные показатели тяжелых металлов в верхних гумусовых горизонтов почве сада.
4. Предложить возможные рекомендации по улучшению состояния почвенного покрова сада.

Глава 1 Антропогенное влияние на городские почвы.

1.1 Земельные ресурсы Санкт -Петербурга

Почва выполняет множества разных функций, в том числе поглощая и удерживая вредные вещества. Однако в городах остро стоит проблема, что большая часть почвы является запечатанной, теряя свои экологические функции.

Так на рисунке 1 представлены процентное содержание земель разных категорий на территории Санкт-Петербурга по утверждению отчета о распределении земель Санкт-Петербурга от 16.03.2000 года[19].

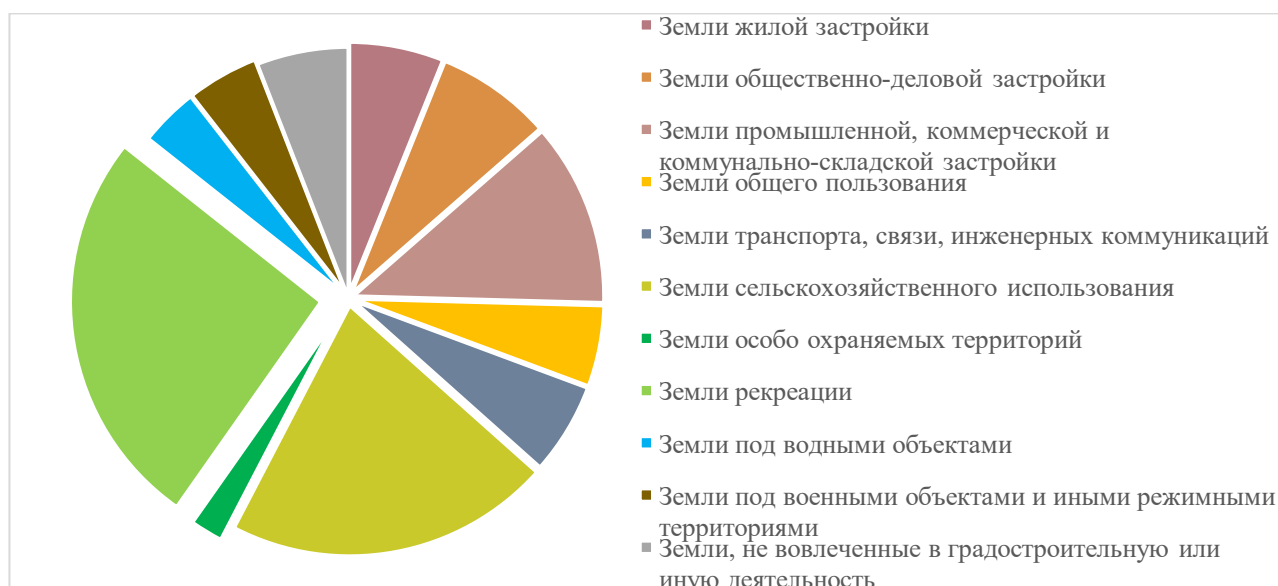


Рисунок 1 – Распределение земельных ресурсов города Санкт-Петербурга по категориям

Из диаграммы видно, что к открытым городским почвам можно отнести лишь 1/3 часть из всех земель города. Однако она тоже подвергается огромному антропогенному влиянию, как и запечатанная, а иногда даже больше. Культуроземы в городе нередко содержат избыток солей и загрязнены различными токсичными металлами, нефтепродуктами и органическими веществами. Это может привести к угнетению растительности, негативно

сказаться на здоровье людей и животных, а также ухудшить экологическую обстановку в других средах, таких как атмосфера и гидросфера, поскольку почва тесно связана с ними.

1.2 Источники загрязнения тяжёлыми металлами

Тяжёлые металлы характеризуются как особая группа элементов, способная оказывать негативное влияние на растения при высокой концентрации. В различных научных трудах и публикациях нет единого мнения о том, что считать тяжёлыми металлами. Из-за этого в разных источниках количество элементов, которые относят к этой группе, может отличаться.

Чтобы определить, является ли вещество тяжёлым металлом, учёные используют разные параметры:

- атомную массу;
- плотность;
- токсичность;
- распространённость в природе;
- участие в природных и техногенных циклах [9].

В наши дни по степени опасности тяжелые металлы находятся на втором месте, выше них находятся пестициды. Загрязнение ТМ происходит из-за широкого использования их в промышленном производстве. Почвогрунты представляют собой основной резервуар для тяжёлых металлов, которые могут поступать в него из атмосферы и водных источников. В свою очередь, тяжёлые металлы из почвы могут вторично загрязнять приземный воздух и водные ресурсы.

Растения также способны поглощать тяжёлые металлы из почвы, после чего они могут попадать в организм человека и животных через пищу. Поэтому тяжёлые металлы считаются особыми загрязняющими веществами, за которыми необходимо тщательно следить во всех средах, особенно в почве [9].

Основными источниками тяжелых металлов являются преимущественно:

1. Промышленность.
2. Энергетика
3. Транспорт

Среди основных источников загрязнения почв Санкт-Петербурга можно выделить использование транспорта через загрязнение воздуха веществами, которые выделяются при сгорании топлива в двигателях транспортных средств. В результате – в атмосферу попадают канцерогены и другие вредные соединения, способные вызывать различные заболевания. Другой важный фактор - влияние гражданской авиации, когда в результате сгорания топлива в атмосферу попадают вещества, которые негативно воздействуют в том числе и на озоновый слой. Также ТМ могут концентрироваться в почве через формирование отходов производства и потребления от предприятий. Различного рода городские свалки, полигоны для твердых бытовых отходов образуют экотоксиканты при гниении и сжигании [12, 13, 26].

1.3 Содержание ТМ в почвах Санкт Петербурга

В Санкт-Петербурге мониторинг загрязнения почвогрунтов с 2021 года проводится регулярно по специально подготовленной программе с целью контроля состояния окружающей среды и предотвращения возможных негативных последствий.

Для того чтобы оценить состояние почвогрунтов в Санкт -Петербурге были взяты данные за 2023 год. Были обследованы 18 районов Санкт-Петербурга и 124 площадок в разных функциональных зонах города, такие как: селитебной зоне, рекреационной, промышленной и транспортной [23].

Районы, в которых медианное значение суммарного показателя загрязнения был замечено меньше всего, являются: Колпинский, Курортный, Приморский и Калининский. Почти все эти районы удалены от центра, во многих из них есть большое количество ООПТ.

На рисунке 2 представлена карта загрязнения почв тяжелыми металлами Санкт-Петербурга за 2023 год.

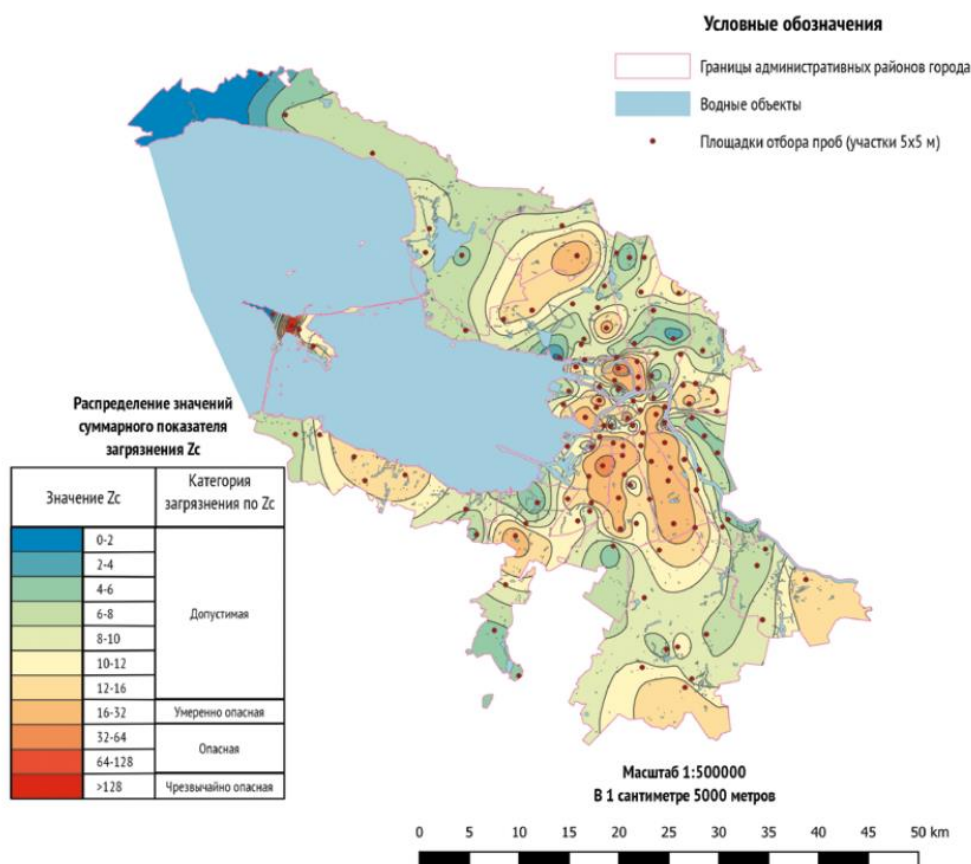


Рисунок 2 - Карта загрязнения почв Санкт-Петербурга тяжелыми металлами по показателю Z_c по данным 2023 года

Наибольшие медианные значения суммарного показателя загрязнения наблюдались в таких районах как: Фрунзенский, Московский, Адмиралтейский, Василеостровский. В этих районах находятся крупные промышленные зоны: Волково, Лиговская, Адмиралтейская, Уральская, Балтийская. Во всех этих районов, не считая Фрунзенский, значение Z_c соответствовала оценки допустимой, во Фрунзенском - умеренно опасной.

Далле рассмотрено превышение над допустимым уровням содержание тяжелых металлов каждой зоне.

В селитебных зонах было отмечено 18 превышений из 54 заложенных площадок. Было замечено превышение кадмия на семи площадках, оно составило 1,1-158,0 ПДК, превышение меди на трех площадках, оно составило 2,45-10,3 ПДК, превышение содержание на 9 площадок по свинцу составило 1,12-5,94 ПДК, превышение цинка на 13 площадок составило 1,14-7,45 ПДК, превышение хрома, сурьмы, никеля на одной площадке каждый составило 1,12, 1,56 и 2,3 ПДК соответственно.[23]

В рекреационной зоне на 2 площадок из 25 были замечены превышение допустимого содержание веществ. Превышение по кадмию и цинку отмечено на одной площадке, оно составило 1,58 и 1,25 ПДК соответственно, превышение по свинцу отмечено на двух участках, оно составило 1,31-1,38 ПДК.

В промышленной зоне замечено превышение допустимого содержания тяжёлых металлов в почве на 7 из 22 площадок. Превышение по содержанию кадмия отмечено на четырех площадках и составило 1,14- 2,5 ПДК, превышение содержание цинка отмечено на шести площадках и составило 1,25-6,73 ПДК, превышение свинца отмечено на двух площадках и составило 1,31-3,19 ПДК, по одной площадке имеется превышение по меди и никелю, оно составило 11,52 и 1,04 ПДК соответственно[23].

В транспортной зоне было превышено допустимое содержание ТМ на двух из 23 площадок. На двух площадок наблюдалось превышение по кадмию, меди, свинцу и цинку, оно составило 1,76- 1,86 ПДК, 1,33-2,15 ПДК, 1,75-4,31 ПДК, 2,16-4,36 ПДК соответственно.

На рисунке 3 представлено соотношение проб почв разных категорий загрязнения, в том числе и ТМ, по химическим показателям в районах г. Санкт-Петербурга в 2023 году

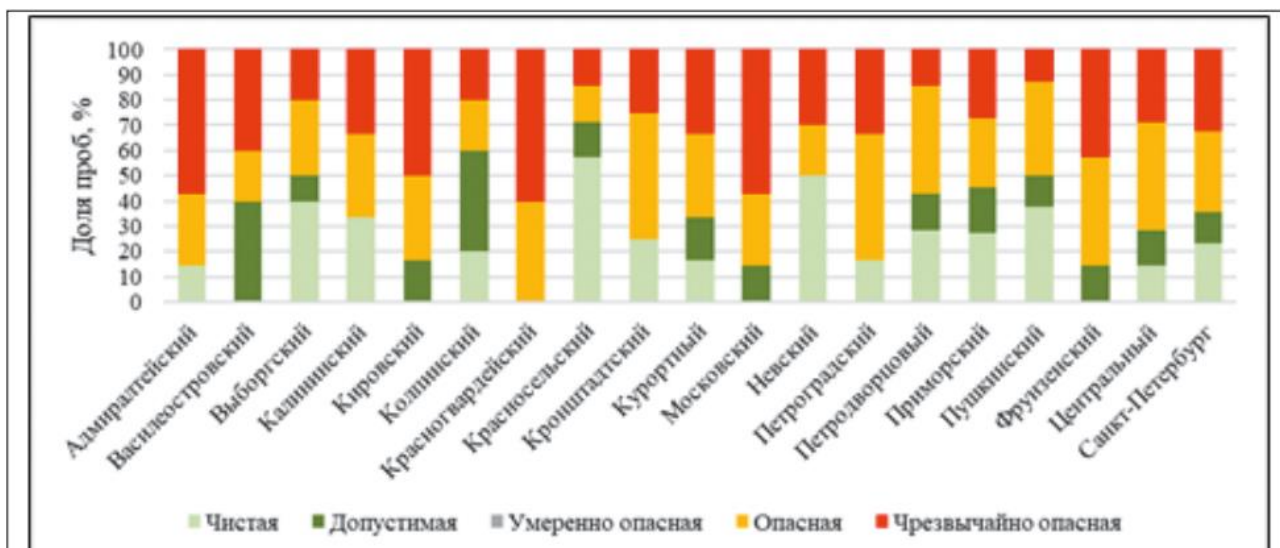


Рисунок 3 – Соотношение проб почв разных категорий загрязнения по химическим показателям в районах г. Санкт-Петербурга в 2023 году [23]

Если сопоставить средние показатели загрязнения Z_c с данными за более ранние периоды, например, за 2000-е годы, то можно заметить, что во многих районах города они стали ниже. За последние 10 лет изучения ТМ в почвах города отмечается уменьшение количества участков, которые не соответствуют санитарно-гигиеническим нормам по химическим показателям. Это было выявлено в ходе санитарно-гигиенического мониторинга, который проводит Роспотребнадзор.

1.4 Содержание ТМ в Петроградском районе

За время мониторинга городских почв в Петроградском районе произошли значительные изменения в содержании тяжёлых металлов. В период с 2000 по 2010 годы содержание цинка в почвах превышало допустимую концентрацию в 9 раз, свинца — в 54 раза, а кадмия — в 3 раза. В 2020 году концентрация кадмия, меди, свинца и цинка превысила предельно допустимые значения. В 2021 году в Петроградском районе было зафиксировано превышение содержания таких тяжёлых металлов, как кадмий, цинк, свинец и медь [10,11]. На рисунке 4

изображено распределение значения суммарного загрязнения Z_c по всему Петроградскому району за 2003 год.

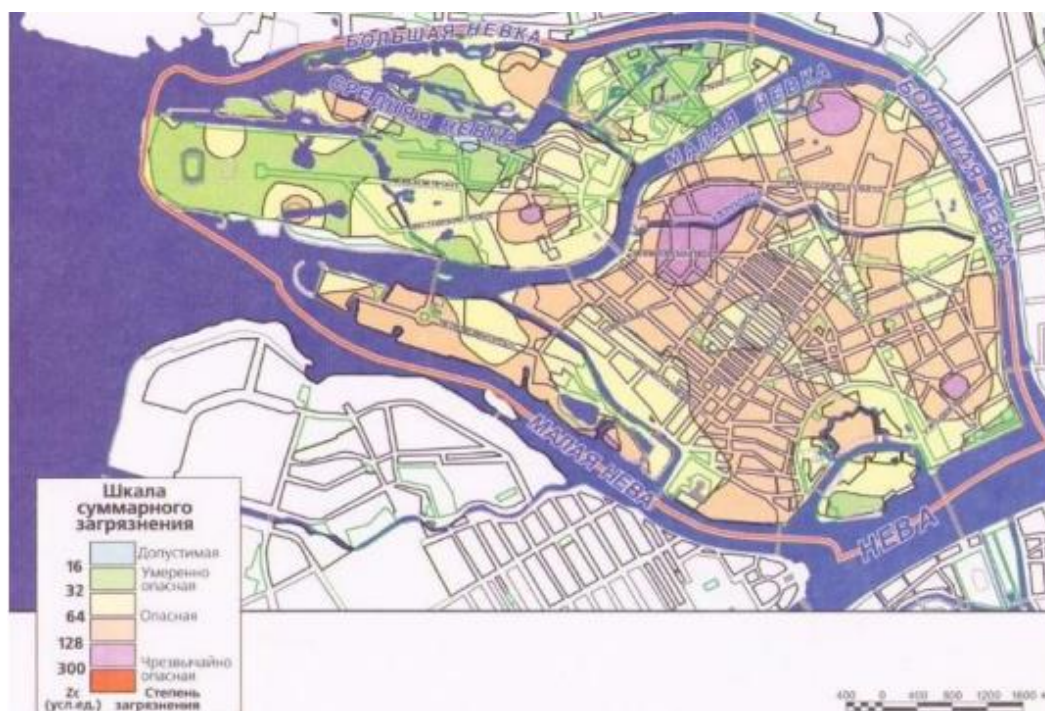


Рисунок 4 – Распределение суммарного загрязнения почв Петроградского района тяжёлыми металлами за 2003 год [28]

Из рисунка видно, что большая часть района имеет опасный уровень загрязнения и только Каменный и Крестовский острова имеют умеренный опасный уровень загрязнения.

Значения суммарного показателя загрязнения Z_c на территории Петроградского района в 2020 и 2021 году составило 6,3 и 4,8, что относится к неопасному уровню загрязнения, однако в 2020 году Петроградский район стал самым грязным по суммарным индексам загрязнения почвы из трех обследуемых районов (исследования происходили в Адмиралтейском, Петроградском и Фрунзенском) [10,11]. В 2023 году, исходя из рисунка 2 значение суммарного показателя загрязнения Z_c на территории Петроградского района колебалось от 4, что соответствует неопасному загрязнению почв до 32, что соответствует умеренно опасному типу загрязнения [23].

В целом в Петроградском районе, как и в самом Санкт-Петербурге прослеживается уменьшение содержания ТМ в почве по сравнению с 2000-2010 ми годами, однако увеличение содержания ТМ с сравнением с 2020-ми годами.

В основном загрязнение происходит из-за транспорта и некоторых предприятий в районе реки Карповки. Также в этом районе находятся предприятия, расположенные вдоль Петровского проспекта, и РНЦ «Прикладная химия».

На территории Петроградского района есть девять участков, где загрязнение очень опасно и имеет сложный состав. В 2020 году район занял седьмое место по уровню загрязнения тяжёлыми металлами, что означает средний уровень загрязнения по городу. Но стоит отметить, что в некоторых частях района уровень загрязнения выше среднего.

Глава 2. История формирования Ботанического сада

Из-за переноса столицы из Москвы в Санкт-Петербург Петр I перевел целый ряд учреждений, в том числе и бывшую Аптекарскую канцелярию, вместе с которым был создан Аптекарский огород – изначальное название ныне существующего Ботанического сада Петра Великого. Его точная дата основания не установлена из-за сгоревших документов. Но при этом известно, что под Аптекарский огород было выделено место в 1713 году между кладбищами на Вороньем острове, ныне Аптекарский остров. Устройство Аптекарского острова было создано по образцу садов, находящихся в Москве, но именно здесь впервые были проведены ботанические исследования.

В 1725 году Аптекарская канцелярия была переименована в Медицинскую, а Аптекарский огород, который находился в её ведении, стал Медицинским. В 1732 году главную аптеку, которая располагалась в Санкт-Петербургской крепости, перенесли на Аптекарский остров, где был Медицинский огород. Позднее он получил название Аптекарского сада. С этого момента на острове началось строительство теплиц, оранжерей и других зданий, появились образцы растений, которые еще не были изучены, например растения из Китая и Татарстана [20].

В конце XVIII века в саду не только выращивали лекарственные растения, но и создавали на их основе препараты. Для этого была оборудована химическая лаборатория с различными инструментами и устройствами. В ней изготавливали материалы для аптек, лечебные экстракты, настойки, масла и спиртовые настойки. Для сушки лекарственных трав было построено специальное помещение с низкими потолками. Кроме медицинского, в Аптекарском саду было организовано ботаническое отделение.

В 1770-1780-х гг. восточная часть Сада по-прежнему оставалась регулярной, а западная была преобразована в пейзажный английский сад. В 1798 г. Аптекарский сад был переименован в Ботанический.

Из-за развития медицины и уменьшения лечения травами Ботанический сад становится научным пособием для преподавания ботаники. В 1806-1809 он теряет часть своей территории, которая была передана под огороды в ведомство Полицейского департамента МВД.

После обращения к императору Александру I, были выделены средства на строительные и ремонтные работы сада. В 1823 г Ботанический сад получил наименование Императорского и его директором стал профессор ботаники Ф.Б. Фишер.

В рекордно короткий срок по проекту архитектора Шарлеманя возводится оранжерейный комплекс в виде каре из 25 оранжерей общей протяженностью 1500 м. Начинаются преобразования территории: создаются открытые пространства для выращивания многолетних и двулетних растений, устойчивых к неблагоприятным условиям, разбиваются овощные грядки, цветочные клумбы, древесный питомник и арборетум для деревьев и кустарников, которые могли расти в условиях 60-й широты на открытом воздухе.

Значительная часть территории была занята под посадки растений, характерных для русской флоры, а также под медицинский огород, где студенты могли проводить практические занятия. Сад пересекал широкий канал, который делил его на две части и соединялся с реками Большой Невкой и Карповкой с помощью подземных труб [20].

В ходе работ по планировке территории в 1820–1830-х годах в Ботаническом саду были созданы пять функциональных зон: оранжерейная зона с Большой каменной оранжереей; Канцелярский двор с административными зданиями; жилая зона; сад и открытая площадка для систематической посадки растений, расположенная к югу от Большой каменной оранжереи.

Сад имел форму неправильного многоугольника и занимал площадь 48350 квадратных саженей. С южной стороны его границы протекала река Карповка, с восточной — Большая Невка. С западной стороны проходила Аптекарская улица, а с северной — Садовая улица и Садовый переулок. 30 марта 1830 г. Ботанический сад был переведен в ведение Министерства Императорского Двора. При этом Сад

потерял свой большой участок с древесным питомником за Песочной улицей [20].

24 июля 1863 г. Императорский Ботанический сад высочайшим указом был передан в ведение Министерства Государственных Имуществ. Саду было указано на его научное назначение.

В 1868 г. был частично засыпан Обводной канал, начинавшийся у восточной оранжерейной линии и заканчивавшийся у реки Карповки. Не засыпанные части канала превратили в пруды, в которых высадили водные растения петербургской флоры. На территории к западу от Большой каменной оранжереи были спланированы и устроены канавки, мосты, аллеи, дровяной двор, огороды для служащих [20].

К началу 20-го века коллекция сада насчитывала 34500 видов и разновидностей растений. В 1913 г. Ботанический сад торжественно отметил свое 200-летие, ему было присвоено наименование Императорского Ботанического сада Петра Великого. В результате преобразований в конце 19-го начале 20-го века Императорский Ботанический сад разбился на ряд самостоятельных учреждений, имеющих свое особое помещение и свой штат служащих.

Ботанический сад пострадал во время блокады Ленинграда в 1941-1944 гг., тогда были разрушены некоторые оранжереи и сведена к минимуму коллекция растений: если до войны она составляла 12 тыс. видов, то во время войны она сократилась до 248 экземпляров. В послевоенный период начались работы по восстановлению оранжерей и их растительных коллекций.

Сегодня коллекция Ботанического сада и насчитывает свыше 80000 образцов растительности Земли, площадь крытых оранжерей составляет 1 га, в них находится более 7500 растений. Также Ботанический сад имеет официальный статус объекта государственного культурного наследия.

3.1. Ботанический сад имени Петра Великого института им. В. Л. Комарова РАН

Ботанический сад занимает территорию 16,7 га и расположен на Аптекарском острове между Аптекарской набережной, набережной реки Карповки, Аптекарским проспектом и улицей Профессора Попова, не имеет буферной зон. На востоке от сада протекает река Большая Невка, на юге - река Карповка. Значительное негативное влияние на почвенный покров оказывает автотранспорт. В зимний период ведется обработка дорог противогололедными реагентами, которые загрязняют почвы, примыкающей к дороге [27].

На рисунке 5 представлено территориальное расположение Ботанического сада имени Петра Великого.

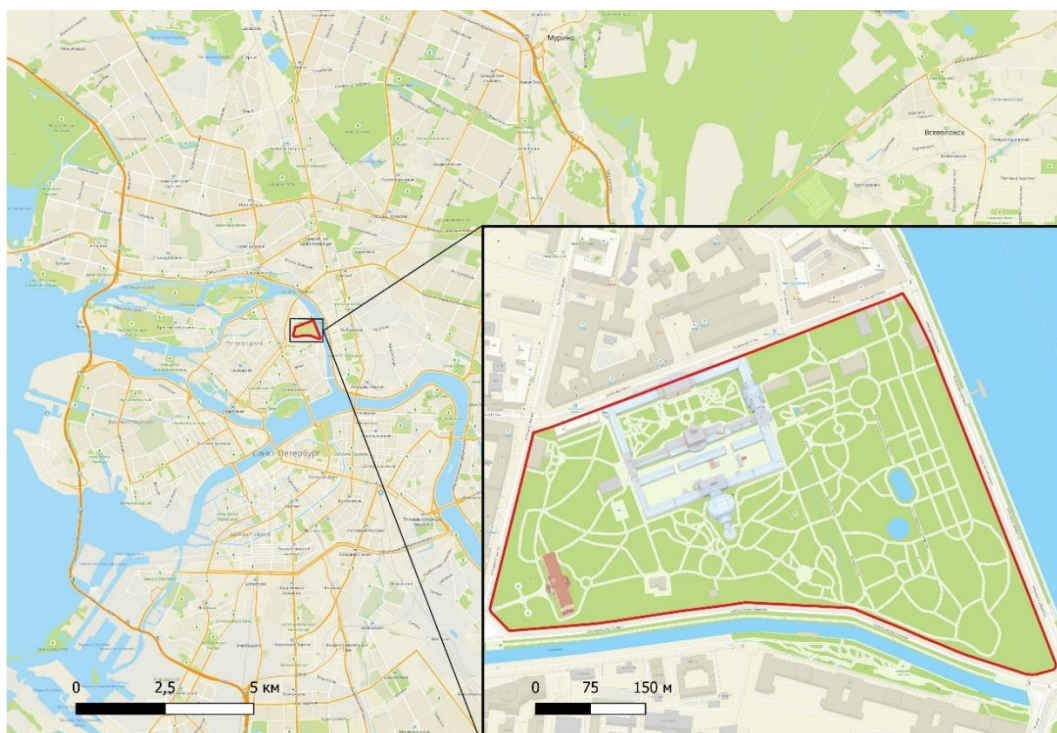


Рисунок 5 – Карта расположения Ботанического сада

Он расположен в особой климатической зоне 60° северной широты, и является единственным представителем крупных мировых садов на данной широте. Парковая зона с её богатейшей коллекцией растений служит не только популярным местом отдыха для всех посетителей, но и для научно-исследовательских целей.

3.2. Растительность на территории Ботанического сада

Ниже представлена растительность, находящиеся на исследуемых участках.:

Участок 1: Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), Туя западная «Вареана Лютесценс» (*Thuja occidentalis* L. *Wareana Lutescens*), Рододендрон Шлиппенбаха (*Rhododendron schlippenbachii*), яблоня домашняя (*malus pumila* mill), Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), Маргаритка многолетняя (*Bellis perennis*), колокольчик круглолистный (*Campanula rotundifolia*), Черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), Лапина кавказская (*Pterocarya fraxinifolia*), Рябина ария (*Sorbus aria*), Клевер ползучий (*Trifolium repens*), Астранция большая (*Astrantia major*), Сосна сибирская (*Pinus sibirica*), Гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata*), Липа сердцевидная (*Tilia cordata*), Герань лесная (*Geranium sylvaticum*), Купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum*), Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*).

Участок 2: Смородина альпийская (*Ribes alpinum* L.), Рододендрон Ледебуре (*Rhododendron ledebourii* Pojark.), Шелковица атласная (*Morus australis*), вишня сибирская (*Prunus sibiricum*), вишня магалебская (*Prunus mahaleb*), Черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*), Клевер ползучий (*Trifolium repens*), Ель колючая (*Picea pungens*), Ель европейская (*Picea abies*), Туя западная (*Thuja occidentalis*), Дрема белая (*Silene latifolia*), Гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata*), Клен татарский (*Acer tataricum*), Орех маньчжурский (*Juglans*

mandshurica), Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), Мох семейство Бриевые (*Bryaceae*).

Участок 3: Черёмуха поздняя (*Padus serotina* (Ehrh.) Agardh.), Клен серебристый рассеченнолистный (*Acer saccharinum*), Абелия корейская (*Abelia coreana* Nakai), Лжетсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*), Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), Клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum*), Рододендрон клементины (*Rhododendron clementinae* Forrest ex W.W. Sm.), Жестер слабительный (*Rhamnus cathartica* L.), Клён трёхцветковый (*Acer triflorum*), Яблоня маньчжурская (*Malus mandshurica* (Maxim.) Kom.)-старый экземпляр, Вишня nipponica (*Cerasus nipponica* (Matsum.) Nakai), Мох семейство Бриевые (*Bryaceae*).

Участок 4: Горошек мышиный (*Vicia cracca*), Вербейник монетчатый (*Lysimachia nummularia*), Пырей ползучий (*Elymus repens*), Ежа сборная (*Dactylis glomerata*), береза бумажная (*Betula papyrifera*), Щавель водный (*Rumex aquaticus*), Лопух паутинистый (*Arctium tomentosum*), Ирга колосистая (*Amelanchier spicata*), Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), Купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*), Липа сердцевидная (*Tilia cordata*), Хвощ луговой (*Equisetum pratense*), Лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), Кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), Бурачник лекарственный (*Borago officinalis*), Незабудка скорпионовидная (*Myosotis scorpioides*), Звездчатка дубравная (*Stellaria nemorum*), Герань лесная (*Geranium sylvaticum*), Клен остролистный (*Acer platanoides*), Мох семейство Бриевые (*Bryaceae*).

Участок 5: Страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris*), Сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), Черёмуха обыкновенная (*Prunus padus*), Купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), лопух паутинистый (*Arctium tomentosum*), Ежа сборная (*Dactylis glomerata*), Сирень венгерская (*Syringa josikaea*), Клен остролистный (*Acer platanoides*), Черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), Маргаритка многолетняя

(*Bellis perennis*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), проростки дуба, Будра плющевидная (*Glechóma hederácea*), Вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), Мятлик обыкновенный (*Poa trivialis*), Липа сердцевидная (*Tília cordáta*), Борщевик сибирский (*Heracleum sibiricum*), Свидина белая (*Cornus alba*), Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), Клевер ползучий (*Trifolium repens*), багряник японский (*Cercidiphyllum Japonicum Siebold Et Zucc.*), Мох семейство Бриевые (*Bryaceae*).

Участок 6: Купырь лесной (*Anthriscus sylvéstris*), Василек луговой (*Centaurea jaceá*), Кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*), Вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), Ива козья (*Salix caprea*) Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*), Клевер ползучий (*Trifolium repens*), Вероника лекарственная (*Veronica officinalis*), Жимолость татарская (*Lonicera tatarica*).

Участок 7: Крапива узколистная (*Urtica angustifolia*), Рододендрон ногоотковидный (*Rhododéndron Calendulaceum*), Лютик ползучий (*Ranunculus repens*), Будра плющевидная (*Glechóma hederácea*), Герань лесная (*Geranium sylvaticum*), Вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), Незабудка скорпионовидная (*Myosótis scorpióides*), Лиственница европейская (*Larix decidua*), Плевроциум шребера (*Pleurozium schreberi*), Вероника лекарственная (*Veronica officinalis*), Черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris*), Клен остролистный (*Acer platanoides*), Клевер луговой (*Trifolium pratense*), Ива трехтычинковая (*Salix triandra*), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), камыш лесной (*Scirpus sylvaticus*), Мятлик обыкновенный (*Poa trivialis*), Горец развесистый (*Persicaria lapathifolia*), Полевица тонкая (*Agróstis capilláris*), Дербенник иволистный (*Lythrum salicaria*), береза повислая (*Betula pendula*), Тростник южный (*Phragmites australis*), Щавель водный (*Rumex aquaticus*), Рододендрон даурский (*Rhododendron dauricum*), свидина белая (*Cornus alba*), Ландыш майский (*Convallaria majalis*), Ольха черная (*Alnus glutinosa*), кострец безостый (*Bromus inermis*), Кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*), Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), Мох семейство Бриевые (*Bryaceae*).

3.3. Почва сада

Объектом исследования данной дипломной работы являются почвенный покров Ботанического сада Петра Великого. Первоначально почти все пространство на Аптекарском острове в Санкт-Петербурге, где находится Ботанический сад, представляло заболоченный лес. Какое-либо антропогенное воздействие отсутствовало.

Рельеф БС характеризуется абсолютными высотами от 2 до 5 метров над уровнем моря. Почвообразующие породы представлены аллювиальными отложениями. В прошлом здесь были распространены слабо развитые аллювиальные серогумусовые почвы. Природные почвы имеют слабокислую реакцию в верхних слоях, содержание гумуса в них не превышает 1,5%. [1].

Схематический рисунок почвенного профиля представлен на рисунке 6.

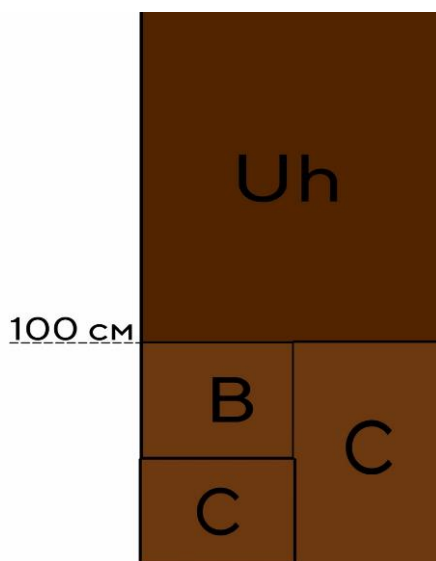


Рисунок 6- Схематическое строение почвенного профиля культурозема

За 300 лет, под древесно-кустарниковыми насаждениями слабо развитые аллювиальные почвы трансформировались в рекреаземы и культуроземы, профиль которых представляет собой серию насыпных слоев общей мощностью

60–100 см, залегающих на погребенной естественной почве или почвообразующей породе.

В связи с тем, что естественные почвы залегают глубоко, а также из-за проблем, связанных с разрешением данной деятельности на территории сада, почвенный профиль не был заложен. Описание почвенного профиля было выполнено на основе литературных источников.

На поверхности выделяется горизонт, который имеет буровато-серый или тёмно-серый цвет и комковато-ореховатую или комковато-зернистую структуру. Этот горизонт рыхлый и сформирован из привнесённого материала. Его мощность зависит от функционального использования территории: наименьшая — в дендрариях, наибольшая — в цветниках.

Средняя часть почвенного профиля состоит из насыпных горизонтов, которые различаются по гранулометрическому составу, содержанию гумуса и количеству антропогенных включений. Юговосточный угол сада характеризуется почвами переувлажненными и оглееными [21, 27]. Подстилка практически отсутствует в результате сезонного сбора опада листьев.

В таблице 1 представлена химическая характеристика верхнего слоя гумусово-аккумулятивного слоя (0-10 см) культурозема.

Таблица 1 - Химическая характеристика верхнего слоя гумусово-аккумулятивного слоя (0-10 см) культурозема

Номер участка	pH КС1	Углерод общий C _{общ} , %	Азот общий N _{общ} , %	Фосфор подвижный P ₂ O ₅ , мг/кг	Калий подвижный K ₂ O, мг/кг
У1	6,6	1,85	0,12	34,3	13,2
У2	6,5	2,24	0,16	37,8	14,4
У3	6,5	2,21	0,15	41,5	12,9
У4	6,4	2,65	0,14	34,6	18,7
У5	6,6	2,42	0,15	38,2	16,2
У6	6,8	4,51	0,18	27	18,3
У7	6,5	1,52	0,13	51,3	24,6

Полученные данные свидетельствуют, что почвы на разных участках сада имеют нейтральную реакцию среды, которая варьируется от 6,4 до 6,8.

Почвы характеризовались средним количеством содержания таких важных биогенных элементов, как фосфор и калий. Количество подвижного фосфора на участках находилось в пределах от 27 до 51,3 мг/кг, соответственно для участков 6 и 7. На других участках он существенно не различался и составлял в среднем 37- 40 мг/кг. Похожая тенденция наблюдалась и оксиду калия, где его подвижная форма варьировала в пределах от 12,9 до 24,6 мг/кг. Максимальное содержание наблюдалось на участке 7, а минимальное содержание на участке 1. На других участках концентрация K_2O составляла в среднем 14-18 мг/кг.

Почвы Ботанического сада отличались средней и высокой гумусированностью. Содержание общего органического углерода в почвах участка сада варьируется от 1,5 до 4,5 %, следовательно. Максимальное содержание $C_{общ}$ наблюдалось на участке 6. Минимальное содержание $C_{общ}$ наблюдалось на участках 1 и 7.

Также следует отметить невысокое содержание общего азота в исследуемых участках почв Сада. В среднем данный показатель варьировал от 0,12 до 0,18%, соответственно для участков 1 и 6. На других участках в почвах содержалось до 0,15% общего азота, что характерно для почв северо-западных регионов РФ.

В таблице 2 представлены результаты определения гранулометрического состава в образцах почвы с участков сада.

Из таблицы видно, что верхний горизонт участков 1,5,7 относятся к супесчаному по гранулометрическому составу, участки 2,3 к песку, а участки 4 и 6 к легкосуглинистому.

Таблица 2 – Гранулометрический состав почвы на исследуемых участках Ботанического сада

Вариант	У1	У2	У3	У4	У5	У6	У7
>10	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
10,0-5,0	0,6	0,7	0,3	0,6	0,8	1,0	0,2
5,0-2,0	1,1	0,7	0,4	0,4	1,1	0,5	0,0
2,0-1,0	3,7	2,2	1,8	2,8	3,3	4,7	0,8
1-0,5	2,2	2,7	1,8	2,7	2,7	2,9	0,8
0,5-0,25	8,6	9,3	15,1	6,4	6,8	5,5	2,4
0,25-0,1	26,7	34,8	48,8	23,6	28,0	21,5	16,9
0,1-0,05	28,2	27,7	23,4	27,7	30,1	30,6	35,3
0,05-0,01	17,3	13,2	1,8	9,8	9,2	9,9	23,9
0,01-0,005	5,3	1,9	1,0	4,9	2,1	3,1	8,0
<0,005	6,2	6,8	5,6	18,0	15,9	20,4	11,8
Физ песок >0,01	88,4	91,3	93,4	77	82	76,6	80,3
Физ. Глина <0,01	11,5	8,7	6,6	22,9	18	23,5	19,8
Краткое название по ГМС	супесь	песок	песок	л. сугл.	супесь	л. сугл.	супесь

3.4 Схема отбора образцов

При проведении исследования учитывались такие факторы как расположение объекта относительно транспортных магистралей, рельеф территории, гидрологические особенности, наличие и характер развития древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

После обсуждения с начальством Ботанического сада было решено выделить 7 площадок по всему Ботаническому саду. Точечные пробы отбирались на каждой пробной площадке из слоя 0-10 см при помощи агрохимического бура. Объединенную пробу составляли путем смешивания точечных проб на каждой площадке. На рисунке 7 представлены участки отбора почв.

Образцы доставлялись в лабораторию, где они были просушены в естественных условиях, измельчены и просеяны через сито до 1,0 мм, для того чтобы отделить крупную минеральную составляющую, и подготовлены для дальнейшего анализа на валовые и подвижные формы тяжелых металлов.



Рисунок 7 - Пробные участки отбора образцов

3.5 Методики определения основных физических и химических свойств

3.5.1 Определение гранулометрического состава образцов почвы

Гранулометрический состав почв был исследован и определен в соответствии с ГОСТ 12536— 2014. При определении гранулометрического состава почв на каждом выделенном участке использовался ситовой метод. Отобранную пробу перенесли на верхнее сито первого набора диаметром отверстий: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1, и просеяли до полной сортировки грунта. Те фракции грунта, что задержались на ситах, высыпали, начиная с верхнего сита, и дополнительно растирали, после чего они заново были просеяны через сита. После чего фракции грунта, задержавшиеся после просеивания на каждом сите и прошедшие в поддон, взвешивали и определяли процентное содержание к общей массе пробы почвы [4].

3.5.2 Определение pH по методу ЦИНАО

Определение pH проводилось в соответствии с ГОСТ 26483-85 по методу ЦИНАО. Сущность метода заключается в извлечении обменных катионов, нитратов и подвижной серы из почвы раствором хлористого калия концентрации 1 моль/дм³ (1 н.) при соотношении почвы и раствора 1:2,5 и потенциометрическом определении pH с использованием стеклянного электрода [6].

3.5.3 Методика определения органического вещества

Органическое вещество в пробах почвах определялось в соответствии с ГОСТ 26213—2021 и использовался фотометрический метод определения органического вещества. Данный метод основан на окислении органического вещества почв раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующем определении содержания трехвалентного хрома, эквивалентного содержанию органического вещества в почве, на спектрофотометре при длине волны 590 нм или фотоэлектроколориметре со светофильтром, имеющим максимум поглощения при длине волны 560—600 нм [5].

3.5.4 Методика определения общего азота

Общий азот проб почв определялся в соответствии с ГОСТ Р 58596- 2019 при помощи тиитриметрического метода. Метод основан на озолении органического вещества почвы концентрированной серной кислотой при кипячении и последующем количественном учете образующегося азота. Вначале навеску смешивают с сухой смеси катализаторов и серной кислоты, после чего доводят до кипения, происходит озоление органического вещества. Затем полученный раствор подвергают воздействию концентрированной щёлочи, где образуется аммиак. Полученный аммиак отгоняют в приёмную колбу, в которой

находится борная кислота. После чего полученный раствор титруют раствором серной кислоты [7].

3.5.5 Методика определения подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО

Подвижные соединения фосфора и калия в пробах почвах определялись в соответствии с ГОСТ Р 54650- 2011 и использовался метод Кирсанова в модификации ЦИНАО. Метод основан на извлечении подвижных соединений фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) из почвы раствором соляной кислоты молярной концентрацией 0,2 моль/дм³ и последующем количественном определении подвижных соединений фосфора (P_2O_5) на фотоэлектроколориметре и калия (K_2O) — на пламенном фотометре [8].

3.5.6 Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов в пробах почвы

Определение массовой доли кислоторастворимых форм металлов, а именно: медь, никель, марганец, цинк, свинец, кобальт и кадмий, проводилось в соответствии с РД 52.18.191 – 2018 при помощи метода атомно - абсорбционной спектроскопии. Метод измерений основан на измерении резонансного поглощения излучения свободными атомами определяемого элемента при прохождении света через атомный пар, образовавшийся в результате электротермической или пламенной атомизации раствора анализируемой пробы [22].

3.5.7 Методика оценки уровня химического загрязнения почв

Оценка уровня химического загрязнения почв будет проводится в соответствии с МУ 2.1.7.730-99. Опасность загрязнения почв определяется

уровнем ее возможного отрицательного влияния на контактирующие среды (вода, воздух), пищевые продукты и прямо или опосредованно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы самоочищения.

Основным критерием гигиенической оценки загрязнения почв химическими веществами является предельно допустимая концентрация (ПДК), или ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) химических веществ в почве.

Оценка степени опасности загрязнения почвы химическими веществами проводится по каждому веществу с учетом:

- фактического содержания компонентов загрязнения почвы, превышающие ПДК и ОДК (K_0);
- класса опасности контролируемого вещества, его персистентности, растворимости в воде и подвижности в почве;
- буферной способности почвы, которая зависит от гранулометрического состава (ГМС), содержания органического вещества, pH. Чем ниже содержание гумуса, pH почвы и легче ГМС, тем опаснее ее загрязнение химическими веществами;

Анализ будет осуществляться на основе критериев, которые были определены в ходе комплексных геохимических и геогигиенических исследований городской среды, где присутствуют действующие источники загрязнения. Эти критерии включают в себя коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и общий индекс загрязнения (Z_c) [18].

Коэффициент концентрации химического вещества определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому ($C_{\phi i}$):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}} \quad (1)$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой 2:

$$Z_c = \Sigma(K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1) \quad (2),$$

где n - число определяемых суммируемых вещества;

K_{ci} - коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения.

Для более точного расчета и анализа были взяты рассчитанные для этого района значения (района 1), а не утвержденные фоновые значения для всего города. Фоновые значения представлены в таблице 3 [15].

Таблица 3 – Рассчитанные нормативы фоновых значений для исследуемых показателей [21]

№ зоны	Фоновые значения исследуемых показателей, мг/кг						
	Cu	Ni	Mn	Zn	Co	Pb	Cd
I	16,6	13,3	114,3	34,5	2,67	17,0	0,14

Глава 5. Рекомендации

Несмотря на то, что все исследуемые участки имеют неопасный уровень загрязнения, каждый из них имеет превышение ПДК и ОДК какого-либо тяжелого металла как валовой формы, так и подвижной формы, что может привести к ухудшению состояния растений на их территориях.

В первую очередь стоит обратить внимание на участки 1 и 7, так как они имеют наиболее высокий показатель суммарного загрязнения по сравнению с другими участками. Это может быть связано с тем, что 1 участок плотно прилегает к дороге, из-за чего выбросы автомобилей могут оказывать влияние на этот участок, несмотря на небольшой трафик машин по Аптекарскому проспекту. Также на участке 1 ближе к краю отмечается наличие листового опада, который способен накапливать в себе тяжелые металлы, после минерализации которого проникать в гумусовые горизонты почв. Рекомендуется собирать на всех участках опад, чтобы предотвратить загрязнение ТМ через опавшие листья.

Участок 7 может быть подвержен загрязнению из-за того, что находится ниже других участков. Тяжелые металлы могут вымываться с дождем с других участков, стекая на 7 участок. Тут может помочь фиторемедиация.

Рекомендуется провести фиторемедиацию для всех исследуемых участков. Растения-гипераккумуляторы подбираются индивидуально, исходя из внешнего вида, поглощаемого вещества и индивидуальных условий для растения. Для сада могут подойти такие растения как: бархатцы – они могут поглощать такие тяжелые металлы как медь, цинк, свинец и кадмий, пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris*) с люцерной синей (*Medicago sativa* L.) достаточно хорошо поглощают никель, львиный зев (*Antirrhinum majus*) – поглощает никель и кадмий, донник желтый (*Melilotus officinalis*) – поглощает свинец, Карагана древовидная (*Caragána arboréscens* L.)- подойдет для поглощения марганца, кобальта и хрома.

Заключение

1. Установлено, что почвы Ботанического сада Петра великого представлены слаборазвитыми аллювиальными серо-гумусовыми почвами, пограбленными под насыпными слоями культурозема с мощностью 60-100 см. Верхний гумусовый слой варьируется от песчаного до легкосуглинистого гранулометрическому составу. Почва на всех участках имеет нейтральную и близко к нейтральной реакцию среды. Почвы на всех исследуемых участках, кроме 1 и 7, являются высокогумусированными, почвы на 1 и 7 участках-среднегумусированные. Так же они высоко обеспечены подвижными формами фосфора и калия.

2. Рассчитаны коэффициенты концентрации K_c тяжелых металлов в почвах сада, которые образуют следующий убывающий ряд: $Pb > Cd > Zn > Ni > Cu > Co > Mn$.

3. Установлено, что валовое содержание свинца превышало на пяти участках парка до 2ПДК, валовое содержание цинка превышало на двух участках до 1,4ОДК, содержание никеля превышало на двух участках до 1,2ОДК. Содержание подвижной формы свинца превышало на всех исследуемых участках, превышение составило до 4ПДК, содержание подвижной формы цинка превышало на двух участках до 1,2ПДК, содержание меди превышало на пяти участках до 2,8ПДК, содержание марганца превышало на одном участке до 1,13ПДК. Превышение валовой и подвижной формы кадмия и кобальта в почвах не наблюдалось.

4 Расчет суммарного показателя загрязнения Z_c тяжелыми металлами показал, что почвы на всех обследуемых участках испытывают неопасный уровень загрязнения. Наиболее высокий суммарный показатель загрязнения имеют 1 и 7 участок, что может быть связано с их расположением, а также качеством их уборки. Рекомендуются провести фиторемедиацию.

Список использованной литературы

1. Апарин, Б. Ф. Почвенный покров Санкт-Петербурга: «Из тьмы лесов и топи блат» к современному мегаполису [Электронный ресурс] / Б. Ф. Апарин, Е. Ю. Сухачева // «Биосфера». — 2013. — Т. 5, вып. 3. — С. 327–352. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochvennyy-pokrov-sankt-peterburga-iz-tmy-lesov-i-topi-blata-k-sovremennomu-megapolisu> (дата обращения: 12.05.2025).
2. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *ANETHUM GRAVEOLENS* L [Текст] / И. Н. Семенова, Г. Ш. Сингизова, А. Б. Зулкарнаев, Г. Р. Ильбулова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 3. — С. 588. — EDN TYSPDP.
3. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами: науч. изд. [Текст] / Ю.Н. Водяницкий ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. - М. : АПР, 2017 - 192 с.
4. ГОСТ 12536—2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава [Электронный ресурс]. — Взамен ГОСТ 12536—79 ; Введ. 2015-07-01.— Москва Стандартиформ 2019 — с. 19 — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200116022> (дата обращения: 12.05.2025).
5. ГОСТ 26213—2021. Почвы. Методы определения органического вещества [Электронный ресурс]. —Взамен ГОСТ 26213— 91; Введ. 2022—01—08. —Москва Российский институт стандартизации 2021 — с.7 — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180714> (дата обращения: 14.05.2025).
6. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО [Электронный ресурс]. — Введ. 1985—03—26. — Москва — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023490> (дата обращения: 12.05.2025).
7. ГОСТ Р 58596- 2019. Почвы. Методы определения общего азота [Электронный ресурс]. —2020—01—01. — Москва Стандартиформ 2019 — с. 8 — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168815> (дата обращения: 14.05.2025).

8. ГОСТ Р 54650- 2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО [Электронный ресурс]. — Введ. 2013-01-01. — М. : Стандартиформ, 2013 URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094361> (дата обращения: 14.05.2025).
9. Джувеликян Х. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв. [Текст] : учеб. пособие для вузов / Х. А. Джувеликян, Д. И. Щеглов, Н. С. Горбунова — Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. — 22 с
10. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году/ Под редакцией Д.С. Беяева, И.А. Серебрицкого – Ижевск.: ООО «ПРИНТ», 2021. - 253с.
11. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2021 году/ Под редакцией Д.С. Беяева, И.А. Серебрицкого – Ижевск.: ООО «ПРИНТ», 2022. - 196с.
12. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2022 году/ Под редакцией А.В. Германа, И.А. Серебрицкого – СПб.: 2023. - 226.с.
13. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2023 году / Под ред. А.В. Германа, И.А. Серебрицкого – СПб.: 2024. – 221 с.
14. Иванищев, В. В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения [Текст] / В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 2. – С. 38-53. – EDN JT LRZV.
15. Ионкина Д. А. Эколого-геохимическое зонирование территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Текст] / Министерство Образования и Науки Российской Федерации Санкт-Петербургский Государственный Университет — Санкт-Петербург, 2017 — с. 66.
16. Мажайский Ю. А. Агроэкология техногенно загрязненных ландшафтов [Текст] / Ю. А. Мажайский, С. А. Тобратов, Н. Н. Дубенок, Ю. П. Пожогин ; Министерство здравоохранения Российской Федерации, Рязанский

государственный медицинский университет им. И. И. Павлова. – Смоленск : Издательство "Маджента", 2003. – 384 с. – EDN QKVSDV.

17. Микшевич, Н. В. Тяжелые металлы и экологическая безопасность человека: (свинец, ртуть, кадмий) [Текст] / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук. – Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2020. – 92 с. – ISBN 978-5-7186-1699-6. – EDN FDBBBG.

18. МУ 2.1.7.730-99. Методические указания. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс]. — Введ. 1999–04–05. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 14.05.2025).

19. Об утверждении отчета о распределении земель Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] : Распоряжение Губернатора Санкт-Петербурга от 16 марта 2000 года N 276-р—URL: <https://docs.cntd.ru/document/8338671> (дата обращения: 12.05.2025).

20. Потёмин М. А. Объект культурного наследия федерального значения «Ботанический сад». Отдельные исторические сведения по материалам паспорта объекта культурного наследия. Соблюдение требований законодательства в сфере охраны объектов культурного наследия. // HORTUS BOTANICUS. — 2018. — Т. 13, прил. I. — С. 728-743. — URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=5724>. (дата обращения: 24.05.2025).

21. Раппопорт А.В. Антропогенные почвы городских ботанических садов (на примере Москвы и Санкт-Петербурга). Дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / Раппопорт Александр Витальевич — М., 2004. — 152 с.

22. РД 52.18.191 – 2018. Массовая доля кислоторастворимых форм металлов в пробах почв, грунтов и донных отложений. Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектрометрии [Электронный ресурс]. — взамен РД 52.18.191-89 — Введ. 2018–07–25. — Обнинск, 2019 – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293736/4293736070.htm> (дата обращения: 14.05.2025).

23. Решетов В.В. Оценка загрязнения почвогрунтов Санкт-Петербурга по данным мониторинга [Электронный ресурс] / В.В. Решетов, К.А. Коршак, К.А. Ладина // Окружающая среда Санкт-Петербурга. – 2024. – № 3(33). – С. 89-99. URL: https://ecopeterburg.ru/wpcontent/uploads/2024/09/OS33_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE.pdf (дата обращения: 12.05.2025)
24. Рогачева, С. М. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений [Электронный ресурс] / С. М. Рогачева, А. Ф. Каменец, Н. А. Шилова // Известия Самарского научного центра РАН. — 2016. — Т. 18, вып. № 5-3 — С. 484-488. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rastvorimyh-soedineniy-margantsa-na-vysshie-rasteniya-i-otsenka-fitoekstraktsionnoy-sposobnosti-rasteniy> (дата обращения: 10.05.2025).
25. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электронный ресурс]. — Введ. 2021–01–28. —URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.05.2025).
26. Середина В.П. Загрязнение почв. [Текст] : Учебное пособие— Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. — 345 с. —ISBN 978-5-94621-489-6
27. Терехина, Н. В. Экологическое состояние почв и основных древесных пород в Ботаническом саду Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН / Н. В. Терехина, О. М. Семенов, Г. А. Фирсов // Социально-экологические технологии. – 2017. – № 3. – С. 33-50. – EDN ZXYBGZ.
28. Экологическая обстановка в районах Санкт-Петербурга : аналит. обзор эколог. ситуации по районам С.-Петербурга в динамике за 5 лет [Текст] / Г. А. Абелев, Т. М. Андреева, В. С. Антонов и др. - СПб. : Формат, 2003. - 719 с. : ил. - 1150 экз. - ISBN 5-98147-001-1 : Б. ц. В надзаг.: Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.