

Санкт-Петербургский государственный университет

Павлова Татьяна Александровна

Загрязнение почвенного покрова кампуса СПбГУ

Выпускная квалификационная работа

по направлению подготовки «Экология и природопользование»

основная образовательная программа магистратуры «Биоразнообразии и охрана природы»

Работа выполнена на кафедре
прикладной экологии

Научный руководитель:
профессор, д.б.н.
Е.В.Абакумов

Санкт-Петербург

2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	6
1.1. Правовые основы санитарной охраны почв	6
1.2. Экологическая оценка и нормирование качества почв в России.....	11
1.3. Зарубежный опыт экологической оценки загрязнения почв.....	17
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....	22
2.1. Рельеф, климат, геологическое строение и растительность Санкт-Петербурга	22
2.2. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге	28
3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	30
4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	41
5.1. рН водной суспензии.....	41
5.2. Микробиологическая активность почв (базальное дыхание)	43
5.3. Содержание органического углерода и гумуса	44
5.4. Оценка загрязнённости почв	47
6. ВЫВОДЫ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	52
ПРИЛОЖЕНИЕ А	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	60

ВВЕДЕНИЕ

Термин "городская почва" может пониматься с различных точек зрения. В более узком смысле – это те почвы, которые находятся под антропогенным прессом и (или) сформированы деятельностью человека в городе, что является пусковым механизмом и постоянным регулятором городского почвообразования (Добровольский и др., 1997). В расширенном виде урбанизированные земли можно определить как совокупность земельных участков, подверженных комплексному инженерному улучшению для целей выполнения специфических хозяйственно-экономических функций (Кухтин, 2014). В результате градостроительной и хозяйственной деятельности почвы урбанизированных территорий подвергаются деградации. Целями охраны земель являются предотвращение и ликвидация истощения, загрязнения, деградации, порчи, уничтожения земель и почв и иного негативного воздействия на земли и почвы, а также обеспечение рационального использования земель (Статья 12 Земельного кодекса РФ).

Значительная часть урбоэкосистем подвержена влиянию негативных процессов, действующих на экологические функции почв. По прогнозам экологов, эти воздействия будут только усиливаться – в будущем будут уменьшаться площадь озеленения и увеличиваться запечатанность территории, ухудшаться почвенно-гидролитические условия, расти загрязнение приземного воздушного слоя и превышение норм рекреационного использования. Урбоэкосистема характеризуется меньшей рекреационной ценностью, нарушенным биокруговоротом, сокращением биоразнообразия и по составу, и по структурно-функциональным характеристикам. Состояние стабильности и устойчивости природного комплекса в городе затруднительно и постоянно требует больших затрат материальных и энергетических ресурсов (Добровольский и др., 1997). Анализ экологического состояния городских земель крупных мегаполисов показывает, что в крупных городах, как правило, происходит быстрое падение качества всех компонентов окружающей среды, повышается степень экологического риска вследствие усиления урбанизации и техногенного воздействия на природную среду (О состоянии..., 1993).

Исследования, которые направлены на анализ экологического состояния почвенного покрова в мегаполисе, необходимы как для оценки текущего качества городской экосистемы, так и для прогноза его динамики. Почвенный покров городских экосистем аккумулирует в себе токсичные соединения и впоследствии является вторичным источником загрязнения природной среды. Одним из основных типов загрязнения почв является поступление техногенных тяжёлых металлов и металлоидов,

что в дальнейшем негативно влияет на здоровье человека. Экологическая ситуация в Санкт-Петербурге определяется выбросами более 1000 предприятий, среди которых представлены крупнотоннажные ресурсо- и энергоёмкие экологически опасные производства, а также крупного железнодорожного узла, мощного автотранспортного парка (Лодыгин и др., 2008).

Устойчивость почв, как и других природных экосистем, понимают как их способность противостоять воздействиям, или сравнительно быстро возвращаться в исходное состояние. Обратимость изменений, или способность почв к самовосстановлению, зависит от буферных свойств самой почвы и от характера воздействия. Преобладающая часть агрогенных воздействий носит обратимый характер. Техногенные же воздействия, как правило, необратимы, либо требуют гораздо больше времени и усилий для возвращения почвы в первоначальное состояние. Необратимый характер большей части техногенных вмешательств в почвы объясняется тем, что они либо принципиально нарушают само существование почвы (экранирование почвы асфальтом в городах), либо наполняют почву чужеродными веществами, изменяющими её функционирование. Поступление в почву тяжёлых металлов представляет опасность для многих живых существ, в том числе человека. Таким образом, почвы городских экосистем являются менее устойчивыми, чем почвы, подверженные другим типам антропогенных воздействий, в частности, почвы агроэкосистем (Герасимова и др., 2003)

Естественные почвы Санкт-Петербурга в процессе развития города претерпели существенные изменения. В историческом центре Санкт-Петербурга преобладают насыпные урбаноземы, которые представляют систему стратифицированных гумусированных и минеральных горизонтов урботехногенного происхождения (Уфимцева и др., 2011). На данных почвах расположен Василеостровский кампус СПбГУ. В случае Петергофского кампуса доминируют урбоестественные почвы с сильно трансформированной верхней частью профиля.

Актуальность исследования. Санитарно-гигиеническое состояние почв Санкт-Петербурга исследовано фрагментарно. Особенно слабо изучены химические параметры почв территорий образовательных учреждений города. Изучение санитарно-гигиенического состояния почв кампусов Санкт-Петербургского государственного университета является актуальной задачей в формировании концепции экологизированного менеджмента организации.

Цель исследования – комплексная оценка экологического и санитарно-гигиенического состояния почвенного покрова территорий кампуса СПбГУ. Для выполнения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Сбор и анализ информации о российском и зарубежных подходах к экологической оценке и нормированию качества городских почв;
2. Сбор и анализ данных об экологической ситуации, уровнях техногенной нагрузки, природно-климатических условиях на исследуемых территориях Санкт-Петербурга;
3. Определение физико-химических параметров почв и интерпретация результатов определения;
4. Определение уровней загрязнения почв приоритетными неорганическими токсикантами и их сравнение с имеющимися нормативными документами;
5. Оценка санитарно-экологического состояния почв с помощью показателей загрязнения почв.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Правовые основы санитарной охраны почв

Целями охраны земель являются предотвращение и ликвидация загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения земель и почв и иного негативного воздействия на земли и почвы, а также обеспечение рационального использования земель (статья 12 Земельного кодекса Российской Федерации). Качество жизни и здоровье населения напрямую зависят от состояния окружающей среды, в том числе от санитарного состояния земель в населённых пунктах. Рассмотрим основные нормативно-правовые акты, связанные с различными аспектами охраны почв.

Статьями 41 и 42 Конституции РФ гарантированы права каждого человека на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду, что предполагает необходимость осуществления комплекса мер, предназначенных для устранения причин ухудшения здоровья населения. К законодательным мерам, принятым в целях осуществления права на благоприятную окружающую среду и касающимся санитарной охраны почв, в первую очередь относится Федеральный закон Российской Федерации № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. Согласно этому закону, в почвах городских и сельских поселений и сельскохозяйственных угодий содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов, а также уровень радиационного фона не должен превышать установленных предельно допустимых концентраций (ПДК) (Статья 21).

Вопрос охраны почв рассматривается также в Федеральном законе Российской Федерации № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. В частности, предусмотрено, что объекты сельскохозяйственного назначения должны иметь необходимые санитарно-защитные зоны и очистные сооружения, исключающие загрязнение почв, поверхностных и подземных вод, водосборных площадей и атмосферного воздуха (Статья 42). В статье 43 говорится о том, что должны приниматься меры по охране почв при осуществлении мелиорации земель, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Статья 51 предусматривает запрет сброс отходов производства и потребления, в том числе радиоактивных отходов, в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву.

Статья 62 Федерального закона «Об охране окружающей среды» устанавливает требования по охране редких и находящихся под угрозой исчезновения почв. Охрана данных почв государством предусматривает создание Красной книги почв Российской Федерации и красные книги почв субъектов Российской Федерации, а также установление особых режимов использования земельных участков, почвы которых отнесены к редким и находящимся под угрозой исчезновения.

Земельный кодекс Российской Федерации предусматривает охрану земель, направленную на сохранение земли как важнейшего компонента окружающей среды и природного ресурса. В целях охраны земель собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков обязаны проводить мероприятия по защите земель от загрязнения химическими веществами, в том числе радиоактивными, иными веществами и микроорганизмами, загрязнения отходами производства и потребления и другого негативного воздействия.

О необходимости защиты почв от загрязнений говорится также в Экологической доктрине Российской Федерации. В этом документе, концентрирующем в себе выражение системы официальных взглядов политического руководства государства, одной из основных задач провозглашается снижение загрязнения окружающей среды выбросами, сбросами и отходами. Для этого существует необходимость обеспечения качества воды, почвы и атмосферного воздуха в соответствии с нормативными требованиями.

В соответствии с Федеральными законами № 7-ФЗ и № 52-ФЗ, Положением о государственной санитарно-эпидемиологической службе РФ и Положением о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании разработана нормативно-методическая база санитарной охраны почв, которая включает в себя государственные стандарты (ГОСТ), санитарные правила и методические указания:

1. СанПиН 2.1.7.1287-03. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.
2. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест. Методические указания. Минздрав России, Москва 1999.
3. Гигиенические нормативы. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06. Москва 2006.

4. СанПиН 42-128-4433-87. Общесоюзные (общегосударственные) санитарно-гигиенические и санитарно-противоэпидемиологические правила и нормы. Методы определения загрязняющих веществ в почве.
5. СанПиН 2.1.7.1322-03. Гигиенические требования к размещению и обеззараживанию отходов производства и потребления. Москва. 2003.
6. СП 2.1.7.1386-03. Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления. Москва. 2003.
7. Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы (нормативные материалы). Москва, 1993.
8. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».
9. ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения.
10. ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель.
11. ГОСТ 17.4.2.03-86. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв.
12. ГОСТ 17.4.2.02-83. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания.
13. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
14. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
15. ГОСТ 17.4.2.01-81. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния.
16. ГОСТ 17.4.3.03-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ.
17. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
18. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
19. ГОСТ 17.4.3.06-86. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ.

В целях охраны земель разрабатываются и реализуются федеральные, региональные и местные программы охраны земель, которые включают в себя обязательные мероприятия по охране земель с учётом особенностей хозяйственной деятельности, природных и других условий. Оценка состояния земель и эффективности предусмотренных мероприятий по охране земель проводится с учетом экологической

экспертизы, установленных законодательством санитарно-гигиенических и иных норм и требований. Порядок проведения экологической экспертизы закреплен в Федеральном законе "Об экологической экспертизе" от 23.11.1995 №174-ФЗ. Внедрение новых технологий, осуществление программ мелиорации земель и повышения плодородия почв запрещаются в случае их несоответствия предусмотренным законодательством экологическим, санитарно-гигиеническим и иным требованиям.

На региональном уровне субъекты РФ также уделяют внимание вопросу охраны почв. На территории Москвы действует Закон г. Москвы 04.06.2007 г. от №31 «О городских почвах». Данный закон регулирует отношения по охране, рациональному использованию, восстановлению, улучшению городских почв и направлен на обеспечение выполнения городскими почвами экологических функций, в том числе произрастания травянистой и древесно-кустарниковой растительности, а также на сохранение благоприятной окружающей среды в городе Москве. Закон предусматривает ряд мер по обеспечению охраны городских почв, включающих в себя принятие и выполнение целевых программ в области охраны и рационального использования городских почв, восстановление деградированных почв, осуществление мониторинга, обязательное компенсационное оздоровление городских почв в случае запечатывания территории и другие меры, а также устанавливает применение административной и иных видов ответственности за нарушение установленных требований (Статья 3). Важным является введение понятий о реестре городских почв, о паспорте городских почв и о почвенной карте города.

Цели, принципы и общие организационно-правовые основы экологического мониторинга определены в Законе г. Москвы №65 от 20.10.2004 г. «Об экологическом мониторинге в городе Москве». Согласно этому закону, почвы и грунты являются объектами экологического мониторинга вместе с другими компонентами природной среды (Статья 5).

Правила охраны почв в Санкт-Петербурге регламентируются Распоряжением мэра Санкт-Петербурга от 30.08.94 года №891 «О введении регионального норматива по охране почв в Санкт-Петербурге». Правила установлены в целях предупреждения и устранения существующего загрязнения почв города, а также регулирования деятельности землепользователей на территории Санкт-Петербурга. Установлены критерии безопасности и безвредности почвы как фактора окружающей среды. Также существует Закон Санкт-Петербурга от 17.04.2006 №155-21 (ред. от 28.06.2010) "Об экологическом мониторинге на территории Санкт-Петербурга", согласно которому одним из объектов экологического мониторинга являются почвы (Статья 2).

Косвенно охрана почв осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 18.06.2013 №400 «Об Экологической политике Санкт-Петербурга на период до 2030 года» и Законом Санкт-Петербурга от 18 июля 2016 г. №455-88 «Экологический кодекс Санкт-Петербурга». Стратегической целью Экологической политики является обеспечение благоприятного состояния окружающей среды, сохранение естественных экологических систем и природных ресурсов (Статья 1.3). Для восстановления нарушенных экосистем предусмотрена ликвидация последствий хозяйственной и иной деятельности, включая рекультивацию земель, нарушенных в результате хозяйственной и иной деятельности, экологическую реабилитацию (санацию) загрязненных территорий (Статья 4.1).

В нескольких субъектах Российской Федерации существуют Красные книги почв. Среди таких субъектов Волгоградская, Оренбургская, Ленинградская, Белгородская, Воронежская области, Пермский край, республики Татарстан и Калмыкия и др. Цель создания книг – выявление природного разнообразия почв, выделение эталонных, уникальных природных и исторических почвенных объектов. Придание особого статуса эталонным почвам позволяет не только оградить их от вреда, наносимого нерациональной хозяйственной деятельностью, но и разработать меры по восстановлению ценных почвенных участков.

Некоторые региональные нормативно-правовые акты, также касающиеся охраны почв:

- 1) Закон Саратовской области от 28 июля 2006 г. №82-ЗСО "Об охране окружающей среды в Саратовской области";
- 2) Приказ Министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области от 14 октября 2011 года №326 «Об утверждении Концепции экологического развития Самарской области на период до 2020 года» (Раздел «Охрана почв»);
- 3) Постановление Правительства Ульяновской области от 11 сентября 2013 г. №37/415-П «Об утверждении государственной программы Ульяновской области "Охрана окружающей среды и восстановление природных ресурсов в Ульяновской области на 2014 - 2020 годы"»;
- 4) Закон Республики Татарстан от 28 июня 2004 г. N 38-ЗРТ "Об охране окружающей среды в Республике Татарстан";
- 5) Постановление Правительства Белгородской области от 26 января 2015 года №14-пп «Об утверждении кодекса добросовестного землепользователя Белгородской области».

1.2. Экологическая оценка и нормирование качества почв в России

В настоящее время, когда человечество превратилось в мощную геологическую силу, трансформирующую окружающую природную среду и преобразующую ландшафты (Вернадский, 1940), необходим разумный компромисс между охраной природы и человеческой деятельностью. Создание системы экологического нормирования состояния окружающей природной среды – один из главных путей в поиске этого компромисса (Попова, Наквасина, 2014). Цель экологического нормирования – сохранение экосистемы, ее структуры и функционирования (Мотузова, Безуглова, 2007).

Оценка характера антропогенной нагрузки на территорию невозможна без оценки экологического состояния почвенного покрова на данной территории (Васильевская, 1990). Экологическая оценка состояния окружающей природной среды является главной задачей экологического мониторинга.

Особенность загрязнения городских почв заключается в том, что на относительно небольшой площади сконцентрировано значительное количество источников загрязнения, при этом наблюдаются признаки того, что поверхностный слой почвы подвергается как локальному, так и региональному переносу загрязнений (Герасимова и др., 2003; Уфимцева, Терехина, 2005).

Для экологической оценки почвенных загрязнений действует подход, заимствованный из других наук, осуществляющих экологическую оценку и нормирование состояния сопредельных, относительно однородных и однофазных сред – атмосферного воздуха и воды. Подразумеваются концентрационные стандарты (нормативы) в форме ПДК и ОДК, относящиеся к массе однородной среды и вызывающие гибель организмов либо их необратимое нарушение. Так как почва является гетерогенным, биокосным единством, содержащим в себе живое и неживое, жидкую, твёрдую и газовую фазы, этот подход достаточно спорный. Разница в профилном распределении веществ, плотности и многих других свойствах приводят к недостоверности в экологической оценке лишь по концентрационным критериям (Смагин, 2006).

На сегодняшний день главный критерий оценки уровня загрязнения почвы химическими веществами – это предельно допустимая концентрация. Согласно МУ 2.1.7.730-99 (1999), предельно допустимая концентрация химического вещества в почве представляет собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве, т. к. используемые при ее обосновании критерии отражают возможные пути воздействия загрязнителя на контактирующие среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения. Величина ПДК – такое содержание

химических элементов в среде, которое в течение длительного времени не вызывает прямого или косвенного негативного влияния на здоровье человека, включая отдалённые последствия (Коновалов и др., 2017).

Установление ПДК химических веществ в почве основывается на четырёх основных показателях вредности:

- 1) транслокационный, характеризующий переход вещества из почвы в растение;
- 2) миграционный водный, характеризующий способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- 3) миграционный воздушный показатель вредности, характеризующий переход вещества из почвы в атмосферный воздух;
- 4) общесанитарный показатель вредности, характеризующий влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и её биологическую активность.

ПДК устанавливается отдельно для каждого из показателей вредности. Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК. Необходимо использование четырёх показателей, так как для человека практически исключён прямой контакт с почвой, а воздействие загрязнителей на организм производится через сопредельные среды.

Преимущество такого способа оценки степени загрязнения, как ПДК, состоит в простоте его применения. В то же время, у системы единых национальных нормативов есть свои недостатки. Как обратил внимание В.Д.Федоров (1974), действие отдельных загрязнителей изучается изолированно, при отсутствии других загрязнителей, в то время как в реальных условиях происходит комбинированное воздействие на биосистему множества факторов. Кроме того, действие отдельных загрязнителей исследуется в лаборатории, как правило, на отдельных видах, выхваченных из обстановки естественного окружения другими видами и потому ведущими себя иначе.

Применение концепции ПДК связано со следующими трудностями (Левич и др., 2004):

– Нормативы ПДК определяются в лабораторных условиях в краткосрочных экспериментах на изолированных популяциях организмов из небольшого числа тестовых видов, по ограниченному набору реакций по отношению к отдельным факторам без учёта их взаимодействия. Поэтому экстраполяция нормативов ПДК на реальные природные объекты неправомерна;

– ПДК принимаются как единые нормативы для огромных административных территорий, в то время как действие загрязняющих веществ зависит от специфических

характеристик конкретного региона, вследствие чего использование единых норм в районах с различающимися экологическими условиями в реальной практике невозможно;

– На сегодняшний день число загрязняющих веществ антропогенного происхождения превысило миллионы наименований. ПДК не могут быть установлены для каждого из них;

– Концепция ПДК не учитывает того, что вредное действие физических, химических и других факторов при их комбинировании может суммироваться (аддитивное действие), ослабляться (антагонизм) или усиливаться (синергизм);

– ПДК не учитывают изменения токсичности многих веществ в зависимости от условий среды, таких как температура, рН и др.

При загрязнении почвы одним веществом неорганической природы оценка степени загрязнения проводится в соответствии с таблицей 1 с учётом класса опасности компонента загрязнения, его ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания элемента (K_{\max}) по одному из четырех показателей вредности.

Таблица 1

Критерии оценки степени загрязнения почв неорганическими веществами

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
	1 класс	2 класс	3 класс
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
$>K_{\max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От ПДК до K_{\max}	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 фоновых значений до ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

При полиэлементном загрязнении оценка степени опасности загрязнения почвы допускается по наиболее токсичному элементу с максимальным содержанием в почве (МУ 2.1.7.730-99).

На территории России оценку уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводят по таким показателям, как коэффициент концентрации химического вещества (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) (МУ 2.1.7.730-99). K_c определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) в мг/кг почвы к региональному фоновому ($C_{\text{фи}}$):

$$K_c = C_i / C_{\text{фи}}$$

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) характеризует эффект воздействия группы элементов; численно он равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

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

где n – число определяемых суммируемых веществ, K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения, превышающий единицу. Некоторые авторы учитывают все элементы, в том числе обеднённые по сравнению с фоном ($K_{ci} < 1$), что является ошибочным, так как не соответствует по смыслу понятию загрязнения (Водяницкий, 2010). По суммарному показателю загрязнения проводится оценка опасности химического загрязнения почв и грунтов тяжёлыми металлами и мышьяком (табл. 2).

Таблица 2

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c)

Категории загрязнения почв	Величина Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Существуют и показатели, не имеющие классификации по степени опасности. Самый простой показатель суммарного загрязнения представляет из себя сумму коэффициентов K_{ci} (Белых и др., 2006):

$$H_c = \sum K_{ci}$$

Недостаток этого показателя заключается в том, что он не доведён до стадии критических значений, то есть не классифицирован по группам опасности загрязнения почв (Водяницкий, 2010).

Также предложен индекс загрязнения почвы ИЗП, который основан на нормировке приращения содержания каждого из элементов (Богданов, 2014):

$$\text{ИЗП} = \sum_{im}(C_i/C_{пдж})/n,$$

где $(C_i/C_{\text{ПДК}})$ – отношение содержания вещества в точке отбора пробы к ПДК, n – количество определяемых ингредиентов. По существу ИЗП представляет собой интегральный уровень ПДК. Значения $\text{ИЗП} > 1,0$ диагностируют «загрязненный» грунт, и чем они выше, тем хуже состояние окружающей среды.

В нашей стране фоновое содержание микроэлементов в почве колеблется в достаточно широких пределах, а принятые ПДК отличаются в разной степени как от нормативов зарубежных стран, так и от средних значений этих элементов в литосфере и почве. Так ПДК свинца, несмотря на слабую миграцию этого элемента в растения, всего лишь в 3 раза выше среднего содержания в почве, ПДК ртути отличается от среднего содержания более, чем в 200 раз, а установленная ПДК для мышьяка, равная 2 мг/кг, даже в 2,5 раза ниже среднего его содержания в почве, что вряд ли правильно (Капелькина, 2013).

Учитывая невозможность использования имеющихся критериев ПДК во многих случаях при практической работе по нормированию загрязнения, в 1995 г. были установлены ориентировочно допустимые количества для валового содержания шести тяжелых металлов и мышьяка, учитывающие уровень реакции среды и гранулометрический состав почв. Величины ОДК утверждены для трех ассоциаций основных почв: песчаных и супесчаных, кислых суглинистых и глинистых, нейтральных и близких к нейтральным глинистых и суглинистых почв. Показатели ОДК определены расчетно-экспертным методом, они в большей степени отражают природный разброс концентраций микроэлементов и тяжелых металлов в различных по географическому положению, генезису и свойствам почвах, но недостаточно обоснованы экспериментально и теоретически (Чернова, Бекецкая, 2011). Существующие на данный момент ОДК определены в СНиП «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» (ГН 2.1.7.2511-09).

Также в Российской Федерации нормируется содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Полициклические ароматические углеводороды представляют собой органические соединения бензольного ряда, различающиеся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения. ПАУ обладают высокой мобильностью, способностью к рассеиванию в биосфере и имеют как природное, так и техногенное происхождение. Накопление ПАУ в почвах связано с процессами трансформации органических веществ и их переносом от техногенных источников (Лодыгин и др., 2008). Уровни предельно допустимых концентраций ПАУ тесно связаны с их вредным воздействием на животных и человека. В России гигиенические нормативы практически для всех сред (включая продукты питания) установлены для бенз[а]пирена,

который относится к веществам 1-го класса опасности. Помимо бенз[а]пирена, установлены ПДК или ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) еще для шести представителей ПАУ (антрацен, аценафтен, нафталин, пирен, фенантрен и дибенз[а,h]антрацен), но пока только для атмосферного воздуха населенных мест и воздуха рабочей зоны (Крылов и др., 2012).

Также согласно СанПиН 1.2.2353-08 «Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности» бенз[а]антрацен, бенз[а]пирен, дибенз[а,h]антрацен, дибенз[а,l]пирен и циклопента[сd]пирен включены в перечень факторов, канцерогенных для человека.

Бенз[а]пирен воздействует по мере накопления, поэтому для него нормируется среднесуточная ПДК в атмосферном воздухе населенных мест – ПДК_{сс} = 0,001 мкг/м³ (ГН 2.1.5.1338-03). Превышение содержания бенз[а]пирена в воздухе городов приходится на районы с интенсивным транспортным движением, а также центральные районы с плотной жилой застройкой, значительно ухудшающей рассеивание вредных веществ в атмосферном воздухе – кратность превышения здесь составляет от 1,1 до 7,5 ПДК (Лим, 2010).

Согласно ГН 2.1.7.2041-06 ПДК бензо[а]пирена в почве составляет 0,02 мг/кг. По требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» оценка уровня загрязнения почв бензо[а]пиреном проводится путем сравнения фактически определенного содержания с ПДК в почвах. Также нормами СанПиН 2.1.7.1287-03 определено, что все почвы и грунты с содержанием данного токсиканта более 0,1 мг/кг (5 ПДК) относятся к чрезвычайно опасной категории загрязнения и подлежат вывозу и утилизации на специализированных полигонах.

Различается множество источников поступления ПАУ в почвы и воду, которые включают: поступление вместе креозот-содержащими материалами; аварийные разливы нефти; осаждение и атмосферное поступление; производственные процессы (производство креозота, битума, асфальта, сельскохозяйственная промышленность) (Vandermeulen, 1989); Коммунальные отходы и сточные воды; а также размещение и захоронение отходов содержащих ПАУ (Jackson et al., 1985). Полициклические ароматические углеводороды могут также поступать в грунтовые, пресные и морские поверхностные воды, вымываясь из почвы вместе с гравитационным и с поверхностным стоком (Wakeham et al., 1980; Wan, 1991).

1.3. Зарубежный опыт экологической оценки загрязнения почв

В течение долгого периода времени содержание загрязняющих веществ в почве не нормировалось. Только с 1970-х гг. XX века вопросу гигиенического нормирования загрязнителей почвы стало уделяться более пристальное внимание (Никитина и др., 2013). Сейчас не существует единых международных нормативов содержания загрязняющих веществ в почвах, есть только национальные стандарты, нормативы, ПДК и ОДК для некоторых загрязняющих веществ. В соответствии с международными стандартами (ИСО 11074–1) качество почв – это совокупность позитивных и негативных свойств, связанных с использованием почв и функциями почв. Работы по установлению нормативов качества почвы в мире возглавляют ФАО и ВОЗ (Капелькина, 2013).

В России используются одноуровневые нормативы содержания химических веществ в почвах, в то время как во многих европейских странах применяется двух-трёхуровневая система нормативов с учётом вида использования. Сопоставление нормативов свидетельствует о том, что российские ПДК соответствуют «целевому» («желательному») уровню других европейских стран, не используемому для принятия административных решений по санации загрязнений (Горький, Петрова, 2009).

В наиболее целостном виде экологическое нормирование реализовано в Германии в форме системы стандартов DIN (Deutsches Institut für Normung – Немецкий институт по стандартизации). Немецкие нормативы качества почв установлены, в первую очередь, для защиты подземных вод от загрязнения; при этом критерии загрязнённости зависят от пояса (зоны) охраны источника подземных вод, а также от типа и проницаемости почв (Макаров, 2013). В немецком Федеральном законе от 1999 года установлены стандарты содержания загрязняющих веществ в почвах Германии, которые дифференцированы по категориям объектов и характеру использования земель. При этом минимальные содержания загрязняющих веществ в городских почвах имеют детские площадки, а максимальные содержания загрязняющих веществ в почвах промышленных объектов (тогда как в России принятые ПДК одинаковы как для почв сельскохозяйственного назначения, так и для промышленных зон городов). Обязательность практического применения экологического нормирования состояния окружающей природной среды закреплена законодательными актами федерального и регионального уровней (Никитина и др., 2013).

В Нидерландах в наши дни действуют критерии оценки качества почв, выпущенные в 2000 году (Circular on target values and intervention values for soil remediation. Naague, 2000). В документе содержатся сведения о фоновом загрязнении

почв, о целевых показателях качества, а также критерии оценки, позволяющие принять решения относительно неотложности и масштабов вмешательства (очистки, удаления, захоронения и пр.). Перечень загрязняющих веществ весьма широк, разбит на категории и включает в себя тяжелые металлы, неорганические анионы, ароматические и полициклические ароматические углеводороды, а также хлорированные углеводороды. Нормирование загрязняющих веществ в почвах осуществляется по трем показателям: A-Wert — норматив, соответствующий естественному фону; B-Wert — норматив, превышение которого не рекомендуется; C-Wert — норматив, за превышение которого следует штраф. (Никитина и др., 2013).

В США для оценки качества окружающей среды используются стандарты содержания в почвах и грунтовых водах опасных для здоровья химических соединений и нефтепродуктов. Сравнение концентраций этих соединений и их стандартов на исследуемых участках даёт возможность количественно оценить степень потенциальной опасности, которую могут представить загрязняющие вещества для здоровья человека и для окружающей среды. Этот подход называется характеристикой риска загрязнения. В зависимости от степени загрязнения почв и грунтовых вод существуют следующие уровни опасности: 1) значительный риск отсутствует; 2) неминуемый риск; 3) значительный риск. Для уровней опасности «неминуемый риск» и «значительный риск» разработаны особые методы восстановления и рекультивации, которые также регламентированы Государственным департаментом США (НИЦЭБ РАН, 2008). В США также существуют национальные программы по сохранению природных ресурсов и разработаны специализированные документы, как, например, Акт о сохранении водных и почвенных ресурсов, подразумевающий необходимость сбора данных по текущей природоохранной политике, действующим программам в этой сфере, альтернативным методам орошения, данных по изменению состояния природных ресурсов и их способности удовлетворять текущие хозяйственные нужды, экономические аспекты природоохранной политики и т.д. Фермерам необязательно разрабатывать мероприятия по защите почв, но без проведения таких мероприятий на своей земле фермер лишается многих преимуществ, которые доступны по федеральной программе. (Коновалов и др., 2017).

В Австралии в качестве предельно допустимых величин содержания веществ в почвах используют так называемые уровни экологического вмешательства. Частично эти значения основаны на экспериментах, определяющих фитотоксичность (Коновалов и др., 2017).

В Постановлении Правительства Финляндии «Об оценке степени загрязнения и необходимости очистки грунта» от 01.03.2007 говорится о том, что очистка грунта должна быть основана на его потенциальной опасности либо вредности для населения и окружающей среды. При оценке необходимо учитывать концентрации, свойства, общее количество, фоновое содержание и местонахождение вредных веществ в грунте, а также вероятность загрязнения грунтовых вод, распространения загрязняющих веществ по территории, характер использования территории, длительность воздействия вредных веществ, синергетические эффекты и иные показатели. Уровень загрязнения разделён на две различных категории. Повышенные значения концентраций загрязняющих веществ применяются для промышленных зон, территорий транспорта, мест размещения отходов. Вместе с грунтами исследуются также и грунтовые воды (Никитина и др., 2013).

В экологическом законодательстве Франции строго регламентированы взаимоотношения природопользователей и природоохранных государственных структур. Разработкой, утверждением и применением экологических норм занимаются правительственные природоохранные структуры. Практически все экологические нормативы, а также порядок их применения вводятся соответствующими циркулярами Министерства окружающей среды, которые обязательны для исполнения региональными префектами. Контроль над состоянием окружающей природной среды производится методом выделения проблемных территорий (неблагополучных с экологической точки зрения или вызывающих подозрение на экологическое неблагополучие). Данные территории ранжируются в зависимости от степени экологической опасности, что является основанием для принятия административных решений по виду и интенсивности природопользования (Капелькина, 2013).

На данный момент для почв России утверждены наиболее строгие ПДК по сравнению с другими странами, которые практически невозможно выдержать в условиях крупного промышленного города (табл. 3).

За рубежом используются комплексные нормативы и стандарты, принимающие во внимание характер использования земель. Критические уровни содержания загрязняющих веществ в странах ЕС, Канаде, США, некоторых азиатских странах, отличаются от ПДК, принятых в России, в десятки или даже сотни раз. Например, ПДК по содержанию валового свинца в почвах всех категорий в России равна 32 мг/кг, в Англии для городских почв различного использования – 300 и 2000 мг/кг. В Канаде содержание свинца в почвах городских жилых кварталов допускается до 500, а в почвах земель под индустриальным или коммерческим использованием – до 1000 мг/кг. Для сельскохозяйственных земель норматив составляет 37,5 мг/кг (Экологические функции..., 2004).

Нормы содержания загрязняющих веществ в почвах России и зарубежных стран, мг/кг

(Гармонизация экологических стандартов..., 2008)

Элемент	Стандарты загрязняющих веществ, мг/кг				
	Германия	Нидерланды	США	Финляндия	Россия
As	25-140	29-50	30-300	50-100	2-10
Pb	200-2000	85-600	300-6000	200-750	32-130
Cd	10-60	0,8-20	30-800	10-20	0,5-2,0
Cr	200-1000	100-800	1000-10000	200-300	-
Ni	70-900	35-500	300-7000	100-150	20-80
Hg	10-80	0,3-10,0	20-600	2-5	2,1
Zn	-	140-3000	2500-10000	250-400	55-220
Cu	-	36-500	-	150-200	33-132
Co	-	20-300	-	100-250	-

Сопоставление данных по допустимому содержанию загрязняющих веществ в почвах, принятому в России и других странах, приводит к выводу о чрезвычайно строгих показателях для почв России. Если зарубежные страны устанавливают нормативы, учитывая категории объектов, то в России принятые ПДК одинаковы как для почв сельскохозяйственных угодий, так и для промышленных городских зон.

Существуют весьма значительные различия по величине ПДК для бензо[а]пирена, принятые в разных странах. Например, в России она составляет 20 мкг/кг почвы (общесанитарный показатель). В Германии же федеральный закон «О защите почв» от 12 июля 1999 г., устанавливает дифференцированные по объектам стандарты содержания бензо[а]пирена в почвах: для почв детских площадок – 2000 мкг/кг, для почв городских парков – 10000 мкг/кг, для почв промышленных территорий – 12000 мкг/кг (Когут и др., 2006; Капелькина, 2010).

В Дании почва считается качественной, если содержание бензо[а]пирена не превышает 100 мкг/кг, а при содержании более 1000 мкг/кг рекомендуется проводить мероприятия по рекультивации или ремедиации. В Нидерландах предельно допустимая концентрация (maximum permissible concentration – MPC) 3,4-бензо[а]пирена в почве равна 52 мкг/кг, т.е. в 2,5 раза больше, чем российская ПДК (Verbruggen et al., 2001). Содержание 7000 мкг/кг и выше определяется как экотоксикологический риск (Ecotoxicological Serious Risk Concentration – SRCeco for soil) (Lijzen et al., 2001). Критерий «SRCeco for soil» по смыслу можно сравнить с нашим критерием «чрезвычайно опасная

категория загрязнения» (в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 равен 0,1 мг/кг).

Разумеется, в Европе не считают ПАУ менее опасными, допуская более высокие предельно допустимые концентрации. Дело в том, что в странах с ограниченными природными ресурсами имеют приоритет подходы, направленные на восстановление исходных свойства почв на месте или на проведение комплекса технических мер, исключающих негативное воздействие токсичных почв на человека и окружающую природную среду в целом (Герасимова, 2007).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

2.1. Рельеф, климат, геологическое строение и растительность Санкт-Петербурга

Рельеф. Санкт-Петербург расположен в Приневской низменности, которая относится к Восточно-Балтийской области низменных плоских озерно-ледниковых равнин. Между Финским заливом и Ладожским озером располагается плоская низина с отметками от 5 до 30 м над уровнем моря. С юга она граничит с глинтом (склон Ордовикского плато), на севере – с уступами Рантоловского плато Токсовской камовой возвышенности (Апарин, Русаков, 2003).

На рельеф территории Приневской низменности повлияли крупные водные бассейны (Балтийское ледниковое озеро, Иольдиевое море, Анцилово озеро, Литориновое море), которые сменяли друг друга при поднятии или опускании суши за относительно короткий отрезок времени. Это получило отражение в ступенчатости территории. Приневская низменность имеет два основных абразивно-аккумулятивных уровня – две террасы, которые сформировались в ходе трансгрессивных и регрессивных процессов. Первая терраса, образованная Балтийским ледниковым озером и занимающая практически весь водораздел между Ладожским озером и Финским заливом, имеет высоты 12 – 25 м. Вторая – более низкая, образована в результате затопления Литориновым морем. Она занимает узкую полосу вдоль Финского залива, расширяясь там, где ранее были моря и заливы.

С начала строительства города и по сей день поверхность города повышается за счет антропогенного фактора, идет подсыпание грунта. Сильно изменилась линия берега Финского залива в результате намыва территории. В пределах городской черты широко распространены техногенные формы рельефа, отличающиеся большим разнообразием (котлованы, песчано-гравийные и глиняные карьеры, каналы, выемки, насыпные и намывные площади, дамбы и т.п.). Наибольшее распространение эти формы имеют в южных районах города. К формам антропогенного рельефа относятся также острова-форты, сооружённые в Невской губе к северу, северо-востоку и югу от о. Котлин в XVIII-XIX вв (Атлас особо охраняемых..., 2016).

В целом, территория Санкт-Петербурга является слаборасчлененной плоской низкой равниной с небольшим уклоном.

Климатические условия. Санкт-Петербург и его окрестности относятся к атлантико-континентальной области умеренного пояса. Климат города имеет черты и

морского и континентального, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом (Экологический портал Санкт-Петербурга). Влияние Финского залива смягчает сезонное колебание температур. Характерной особенностью местного климата является умеренно теплое лето, сравнительно теплая и продолжительная осень, неустойчивая, но холодная зима и прохладная растянутая весна.

Черты морского климата проявляются в большой относительной влажности воздуха в течение всего года, умеренно тёплом и влажном лете (средняя температура июля 17,8 °С), умеренно холодной зиме (средняя температура в январе –6,7 °С) с хорошо выраженной циклонической деятельностью и частыми вторжениями тёплых воздушных масс, вызывающих оттепели. Континентальность климата проявляется в значительной амплитуде средних температур самого тёплого и самого холодного месяцев (около 25 °С), большой продолжительности зимы (более 3 месяцев), когда температура воздуха может опуститься ниже –30 °С (Атлас особо охраняемых..., 2016).

Санкт-Петербург по своему географическому местоположению попадает в зону избыточного увлажнения. Выпадение осадков в Санкт-Петербурге определяется главным образом интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (67%) приходится на теплый период и только 33% – на холодный. В среднем за год выпадает 636 мм осадков. Максимум осадков в Санкт-Петербурге приходится обычно на август (81 мм), а минимум – на февраль (31 мм) (Северо-Западное УГМС). Устойчивый снежный покров держится, как правило, с декабря по апрель. Мощность его не превышает 30 см. Так как сильные морозы непродолжительны и не часты, почва промерзает на относительно небольшую глубину.

Город вносит изменения в климатические особенности территории, косвенно влияя на процессы почвообразования. Задымленная, запыленная атмосфера, каменные здания и асфальтовые покрытия, сильно нагревающиеся под солнечными лучами, отопление зданий в зимний период – все это ведет к росту температур в городе, по сравнению с окрестностями. Летом в центре Санкт-Петербурга температура днём бывает выше на 2 – 3°С, чем в пригородах, а относительная влажность на 15–20 % ниже (Атлас «Ленинград»..., 1981).

Геологическое строение и почвообразующие породы. Территория Санкт-Петербурга расположена в зоне сочленения Балтийского щита, сложенного породами кристаллического фундамента и Русской платформы, образованной древними осадочными породами. Кристаллический фундамент представлен в основном гранитоидным комплексом и имеет сложное блоковое строение, залегает на глубине от 140 м на западной окраине курортной зоны до 300 м у южных границ города.

Разрез осадочного чехла в основании представлен отложениями вендского комплекса (редкинский и котлинский горизонты), моноклинально залегающими на кристаллическом фундаменте). Редкинский горизонт (старорусская свита) в нижней части представлен преимущественно песчаниками и алевролитами мощностью 10–30 м, перекрытыми аргиллитоподобными глинами и алевролитами мощностью не более 10–15 м. В котлинском горизонте выделены нижняя и верхняя подсвиты. К нижней подсвите приурочены гдовские слои с преобладанием песчаников и алевролитов мощностью до 30 м. Гдовские слои залегают в основном на отложениях редкинского горизонта, а в местах их выклинивания – непосредственно на породах кристаллического фундамента. Залегающие выше отложения верхней подсвиты котлинской свиты представлены мощной (до 150 м) толщей переслаивающихся глин с редкими прослоями песчаников.

В разрезе осадочного чехла необходимо выделять две толщи отложений – верхнюю и нижнюю (рис. 1). Верхняя толща состоит из песчано-глинистых грунтов четвертичного возраста Q (390 тыс. лет и моложе), происхождение которых связано с тремя ледниковыми, двумя межледниковыми, позднеледниковым и послеледниковым периодами в геологической истории развития рассматриваемой территории. Это самые молодые и наиболее слабые отложения в разрезе осадочного чехла. В верхней толще обычно прокладывают системы водоотведения неглубокого заложения (первая половина и середина XX века), водопроводные сети и теплоцентрали, а также канализационные коллекторы средней глубины заложения (60-70-ые годы XX века).

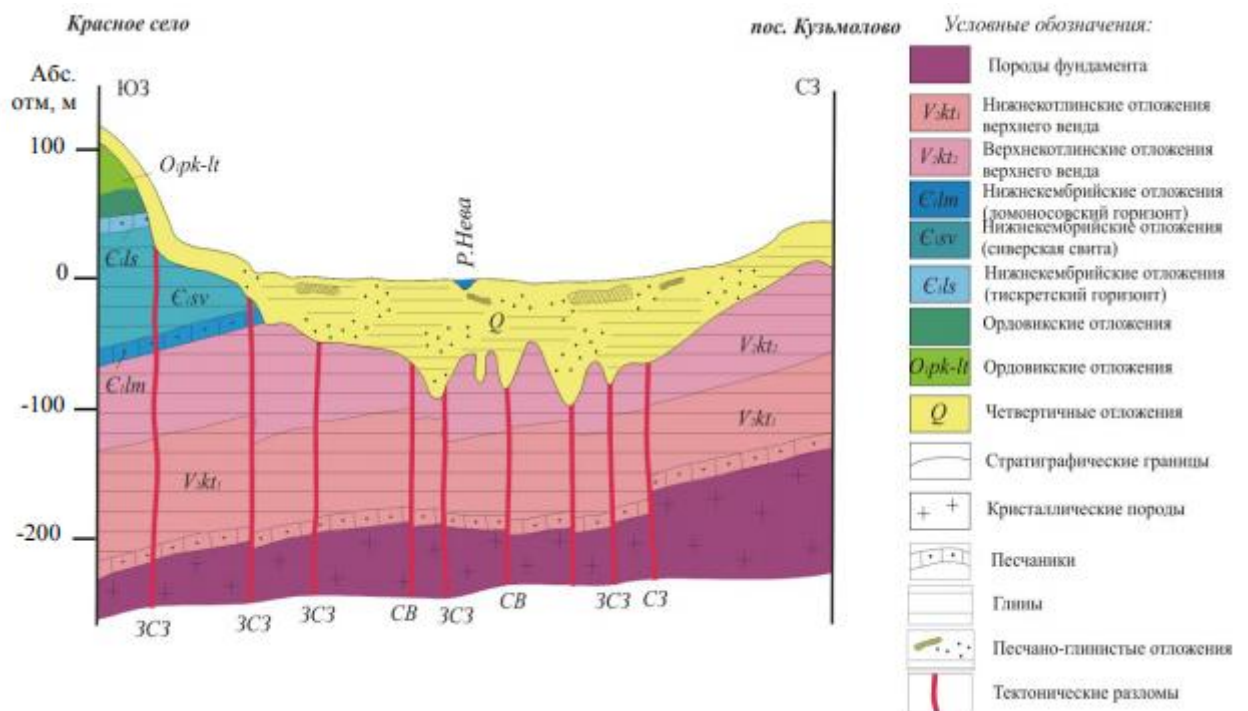


Рис. 1. Геолого-литологический разрез Санкт-Петербурга (по Дашко и др, 2011)

Мощность четвертичной толщи зависит от подземного рельефа кровли нижней толщи, которая имеет большой перепад абсолютных отметок за счет размыва пород дочетвертичного возраста палеореками с высокими скоростями их течения, происшедшего с начала ледникового периода. Разрез нижней толщи в Санкт-Петербурге представлен коренными породами, имеющими возраст 550-650 млн. лет и прошедшими несколько стадий литификации, что определило их высокую степень уплотнения и обезвоживания. На юге города в строении верхней толщи выделяют нижнекембрийские «синие» глины (Є1sv), а под ними – ломоносовские песчаники с прослоями глин (V2-Є1lm), к которым приурочен напорный водоносный горизонт (рис. 2) (Дашко и др., 2011).

На размытой поверхности отложений вендского комплекса залегают песчаники и алевролиты ломоносовской свиты лонтоваского горизонта нижнего кембрия. Их мощность не превышает 10–12 м. На дочетвертичную поверхность свита выходит узкой полосой шириной 1–2 км в южных районах города. Перекрываются песчаники ломоносовской свиты мощной (115–120 м) толщей голубовато-серых глин сиверской свиты лонтоваского горизонта. Отложения сиверской свиты выходят на дочетвертичную поверхность широкой полосой 12–18 вдоль южного побережья Финского залива. Выше по разрезу залегают локально развитые пески и песчаники среднего и верхнего отделов кембрия (Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году).

В южных районах города (Красносельский, Пушкинский) на дочетвертичную поверхность выходят породы ордовика. Нижняя часть разреза ордовика, с размывом залегающая на кембрийских отложениях, представлена тосненской (бурые и кирпично-красные обловые пески и песчаники) и копорской (серовато-чёрные и и чёрные аргиллиты и алевролиты – комплекс «диктионемовых сланцев») свитами пакерортского горизонта нижнего ордовика. В южном направлении от глинта мощность отложений этих свит увеличивается до 12 м. Породы среднего ордовика представлены в основном известняками и доломитами обуховской и медниковской свит; мощность этих отложений достигает 20 м (Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга, 2016).

Самыми молодыми дочетвертичными образованиями, выходящими на дочетвертичную поверхность на крайнем юге города и имеющими весьма ограниченное распространение, являются породы наровского горизонта среднего девона, представленные мергелями и доломитами с прослоями глин.

Четвертичные отложения различного генезиса практически полностью перекрывают с поверхности территорию города. На большей части их мощность не превышает 20–30 м. Четвертичные отложения отличаются частой литологической изменчивостью как в плане, так и в разрезе. Наиболее полно разрез четвертичных

отложений представлен в древних погребенных долинах, где их мощность возрастает до 100–130 м. Здесь в составе четвертичных отложений выделяются 2–3 моренных песчано-глинистых горизонта и разделяющие их песчаные межморенные слои.

Геологическое строение территории определяет характер изменения состояния ресурсов геологической среды по площади и по глубине, возможность их использования, необходимые ограничения антропогенной нагрузки на них (Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году).

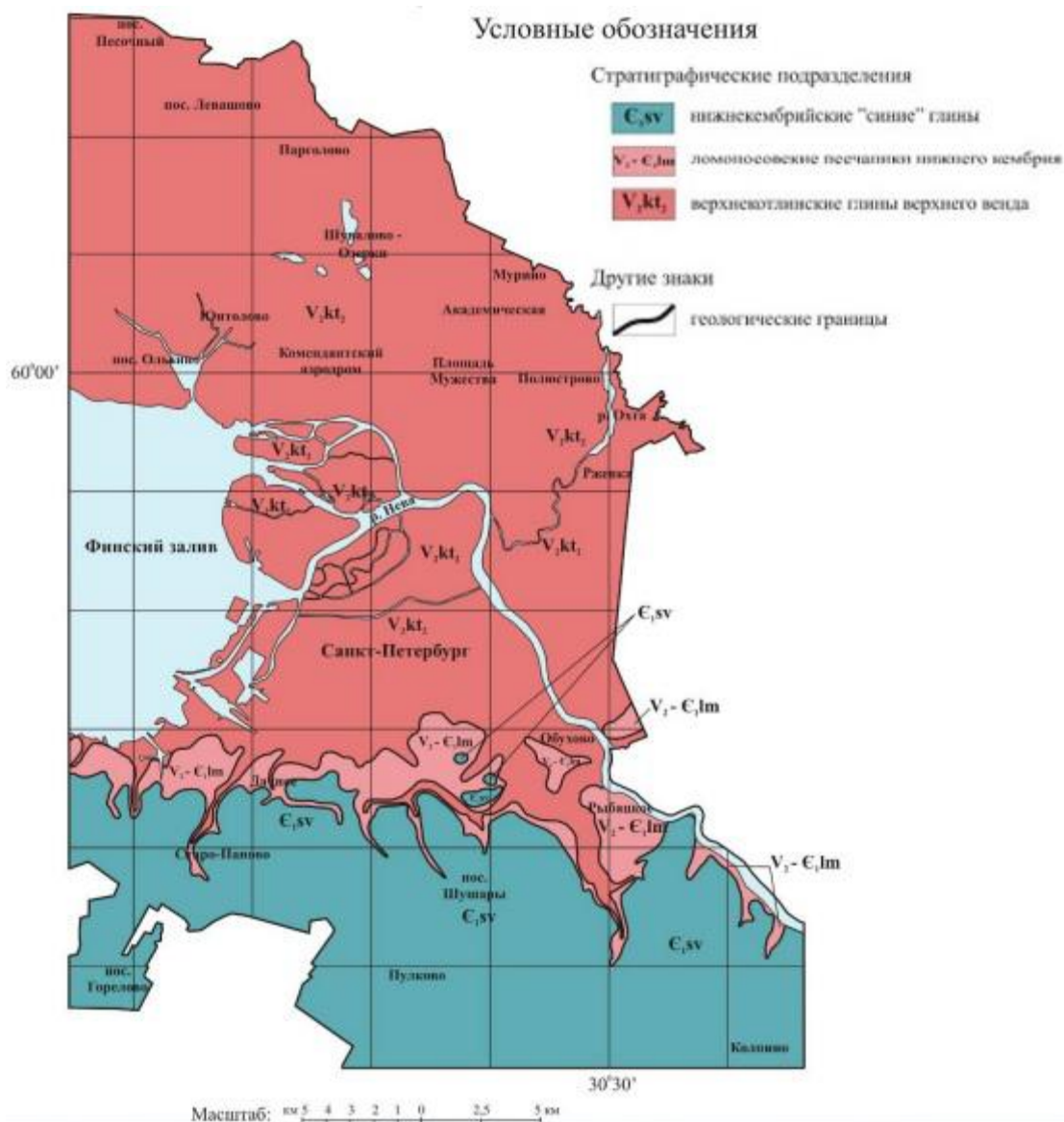


Рис. 2. Схематическая геологическая карта дочетвертичных (коренных) отложений Санкт-Петербурга (по данным Геологического атласа Санкт-Петербурга, 2009 г.)

Растительность. До активного заселения человеком побережье Финского залива, Приневская низменность, равнины и возвышенности, включая Ижорское плато, были покрыты еловыми и сосновыми (отчасти заболоченными) лесами, черноольшанниками и

безлесными болотами. В ходе развития Санкт-Петербурга естественная растительность была уничтожена на площади более 800 км² и частично заменена искусственными насаждениями. Однако до сих пор около 280 км² (20% городской площади) занимают таёжные леса.

По соотношению площадей, занимаемых в настоящее время лесной растительностью, на территории Санкт-Петербурга преобладают сосняки брусничные, черничные и сфагновые (около 44% лесной площади). Еловые леса (черничные, кисличные, сфагновые) занимают около 13% площади. Около 38% приходится на долю березняков, выросших после пожаров и рубок хвойных лесов, на заброшенных сельскохозяйственных землях и намытых территориях. Более 4% лесной площади формируют древостои с господством осины, серой ольхи, ивы козьей. Менее 1% лесной площади приходится на влажные черноольшанники, произрастающие вдоль побережья Финского залива (Атлас особо охраняемых..., 2016).

Около 5% территории Санкт-Петербурга занимают болота (в основном верховые и переходные) с мощностью торфа более 0,5 м. Наиболее крупное ненарушенное болото – Сестрорецкое – кустарничково-сфагновое, осоково-сфагновое, местами облесенное сосной. Другие крупные торфяники (Лахтинский, Обуховский, Сосновский, Усть-Тосненский) в разное время подвергались осушению и торфоразработкам, поросли лесом, частично использовались под сельскохозяйственные земли; болотная растительность сохранилась на них фрагментарно. Через последний торфяник в 2012 г. прошла автотрасса Западный скоростной диаметр (Исаченко, Резников, 2014).

Искусственные зелёные насаждения (парки, сады, скверы, бульвары, озеленение улиц, посадки на кладбищах и др.) занимают около 44 км². Кроме местных лиственных пород (берёза, липа, дуб, ясень, вяз и др.), высажено более 50 видов интродуцированных деревьев (например, лиственница сибирская, ель колючая, конский каштан) и кустарников (боярышник, снежноягодник, сирень и др.). В районах жилой застройки 1950-1970-х гг. преобладают насаждения быстрорастущих видов тополя.

Сельскохозяйственные земли (пашни, луга, огороды, коллективные сады) в начале 1990-х гг. занимали около 18% городской территории. В последние десятилетия основная часть этих земель была выведена из использования и сейчас занята жилой и промышленно-складской застройкой. Часть заброшенных угодий зарастает кустарниками и мелколиственными деревьями, а также заболачивается. (Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга, 2016).

2.2. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге

Качество окружающей среды в Санкт-Петербурге определяется структурой и культурой производства, особенностями размещения производительных сил, географическим положением и климатическими условиями.

Санкт-Петербург – второй по численности населения (более 5 млн чел.) и объёмам производства город России. К негативным факторам можно отнести: загрязненность воздуха, перенаселенность, шум – все эти факторы приводят к ухудшению качества жизни в городе и ухудшению состояния здоровья петербуржцев. В Санкт-Петербурге на долю автотранспортных источников приходится около 90% выбросов загрязняющих веществ. Из официального Доклада Комитета по охране окружающей среды, природопользования и экологической безопасности Санкт-Петербурга следует, что суммарный выброс загрязняющих веществ в нашем городе пока только растет. В частности, увеличение наблюдается по таким показателям, как оксид углерода, летучие органические соединения и др. По диоксиду азота, например, который содержится в выхлопных газах автомобилей, предельно-допустимая концентрация в воздухе превышена в 20 раз. В городе расположено около 2 тыс. предприятий, преимущественно водоресурсоэнергоёмких. Особенно загрязнен воздух Центрального, Адмиралтейского, Красногвардейского, Невского районов, где имеются ряд крупных промышленных, в том числе химических предприятий (Голубев, Сорокин, 2011). Несколько лучше ситуация в Калининском, Приморском районах, которые продуваются ветрами с Финского залива.

Производственные и социально-бытовые объекты, находящиеся на территории Санкт-Петербурга, характеризуются высокой энерго- и ресурсоемкостью, что негативным образом сказывается на экологической обстановке. Кроме того, город, расположенный в устье Невы, вынужден пропускать через свою главную водную артерию часть сточных вод, поступающих из других субъектов Российской Федерации. На состояние окружающей среды влияет трансграничный воздушный перенос загрязняющих веществ с сопредельных территорий. Загрязнение воздушной среды формируется также под влиянием выбросов передвижных и стационарных источников. В Санкт-Петербурге преобладающую часть загрязнений атмосферного воздуха дает автотранспорт, поэтому особенно сильно загрязнен воздух вблизи магистралей с наиболее интенсивным движением автомашин (Экологический портал Санкт-Петербурга).

На территории Санкт-Петербурга располагается более 600 водоемов и 390 водотоков. Состояние водных объектов города характеризуется как «загрязнённые» и «умеренно загрязнённые». Основные источники загрязнения поверхностных вод – сброс

сточных и ливневых вод без очистки. Подземные воды, расположенные в недрах города, относительно чистые.

Уровень загрязнения почв крайне неоднородный и определяется как историческими факторами, связанными с развитием города, так и техногенным воздействием (рис.3).

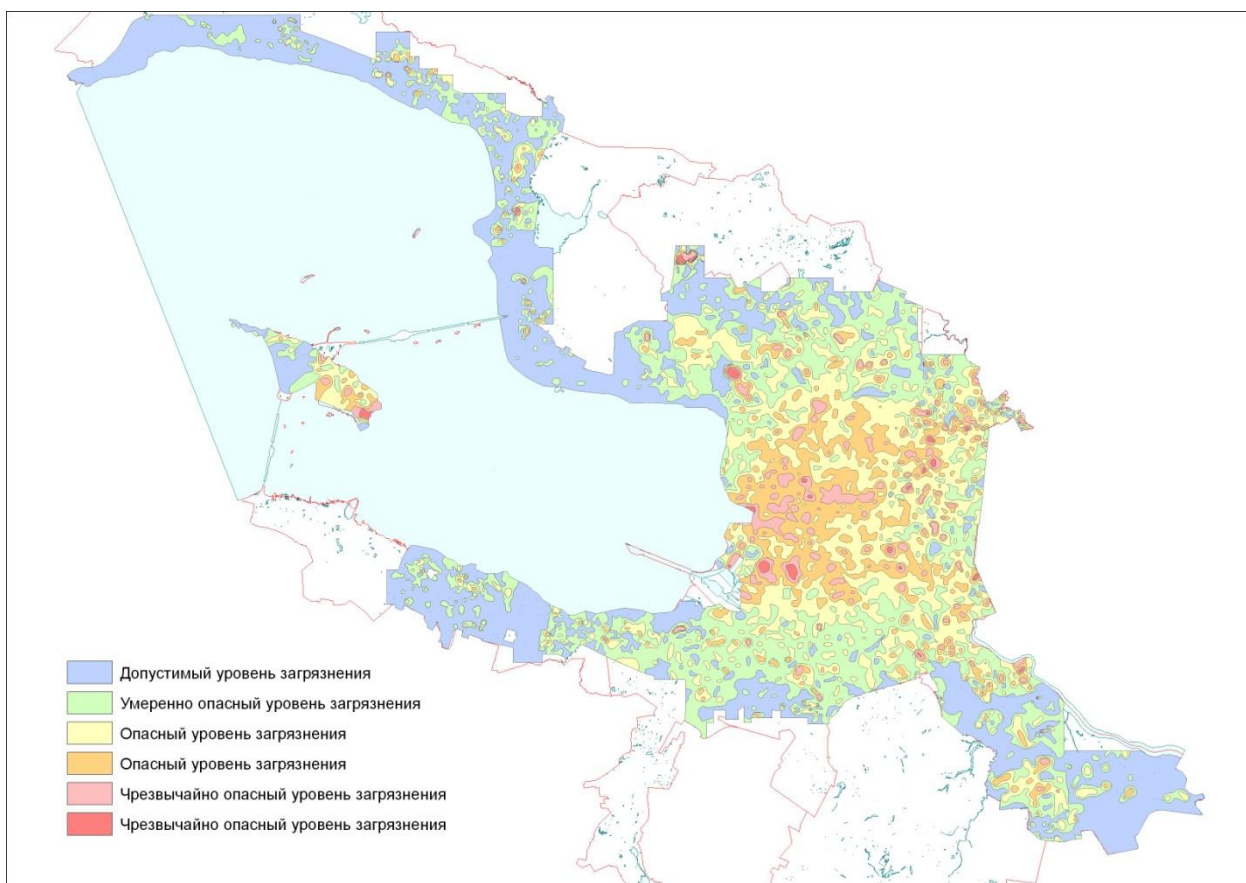


Рис. 3. Схема распределения суммарного индекса загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами (Z_c) (Экологический портал Санкт-Петербурга)

3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются почвы двух территорий кампуса СПбГУ:

1) Петродворцовый учебно-научный комплекс (ПУНК), где расположены несколько факультетов СПбГУ и студенческий городок из десяти общежитий (рис. 4,5).

2) Территория в окрестностях здания Двенадцати коллегий (Главная часть Василеостровского кампуса), включая Ботанический сад СПбГУ, основная и историческая часть Василеостровского кампуса СПбГУ (далее – Университетская набережная), расположенная в Василеостровском районе (рис.6).

Расположение обеих территорий кампуса в Санкт-Петербурге показано на рис. 7.

Здание Двенадцати коллегий – одна из самых старых построек на Васильевском острове в Санкт-Петербурге (строительство началось в 1722 году). Учебно-научный комплекс СПбГУ в Старом Петергофе был построен во второй половине 70-х годов. Таким образом, мы имеем возможность сравнить экологическое состояние почв в центре города, подвергающихся антропогенному воздействию уже на протяжении трёх веков, и почв пригорода Санкт-Петербурга, которые испытывают усиленную техногенную нагрузку только в течение последних десятилетий.

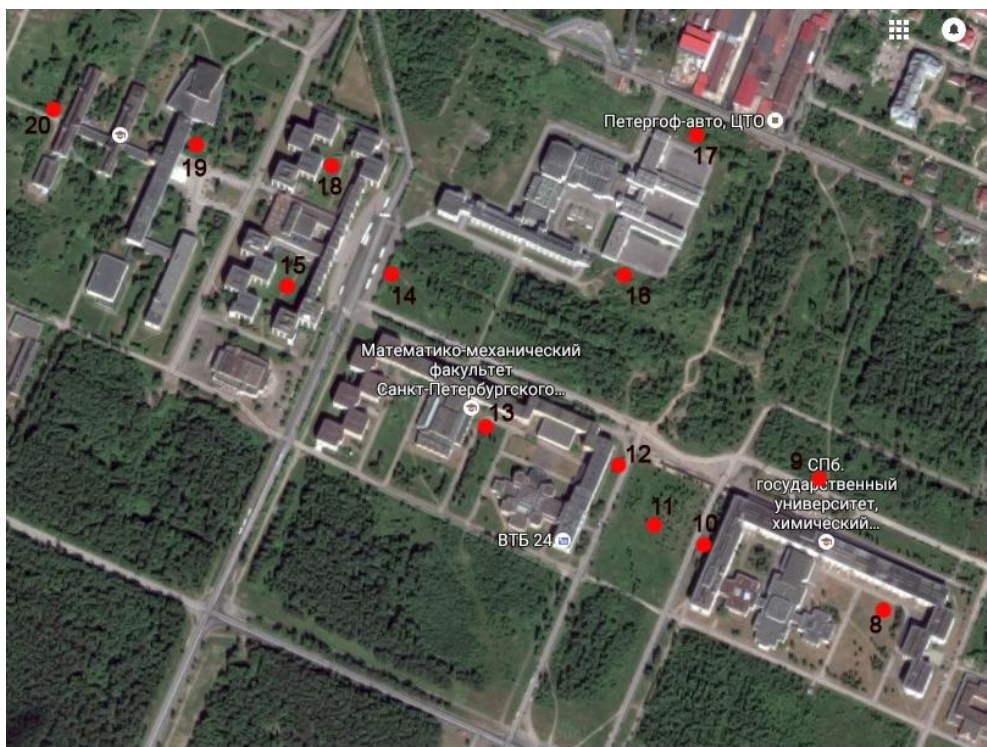


Рис. 4. Точки отбора проб на территории ПУНКа



Рис. 5. Точки отбора проб на территории ПУНКа



Рис. 6. Точки отбора проб на территории Университетской набережной

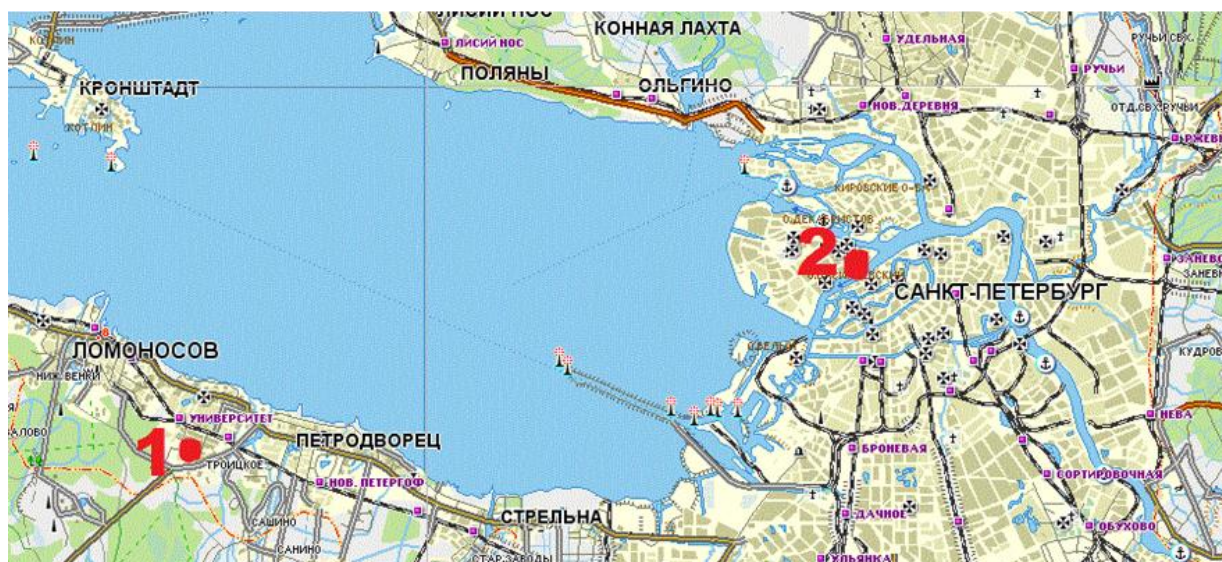


Рис. 7. Расположение исследуемых объектов на территории Санкт-Петербурга: 1 – ПУНК, 2 – Университетская набережная

Характеристика Петродворцового района. Петродворцовый район расположен в 30 км от центра Санкт-Петербурга в западной части города. Северная граница района проходит по береговой линии Финского залива, южная и западная отделяют Петродворцовый от Ломоносовского района Ленинградской области. На востоке Петродворцовый район граничит с Красносельским районом Санкт-Петербурга. Площадь района - 109 кв. км. Численность населения на 01.01.2017 составляет 138,15 тыс. человек. В состав Петродворцового района входят три муниципальных образования – город Петергоф, город Ломоносов и поселок Стрельна (Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга).

Наиболее крупные промышленные предприятия района: АО «61 БТРЗ», ОАО «Производственная фирма «КМТ», ООО «БСХ Бытовые приборы», ФГУ НПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция, АО «НИИ мортеплотехника» (Экологическая обстановка Петродворцовом..., 2017).

В Петродворцовом районе Санкт-Петербурга на 01.01.2016 расположены 88 объектов зеленых насаждений общего пользования городского значения (989 га), 186 объектов зеленых насаждений общего пользования местного значения (54 га), 39 объектов зеленых насаждений, выполняющих специальные функции, в части уличного озеленения (69 га). Обеспеченность населения Петродворцовом районе Санкт-Петербурга зелеными насаждениями общего пользования городского и местного значения, зелеными насаждениями ограниченного пользования составляет 145,8 м² /чел при суммарной площади указанных видов зеленых насаждений 1112 га.

По данным Российского геоэкологического центра (филиала ФГУГП «Урангео») загрязнение почв центральной части Петродворцового района характеризуется следующими положениями:

1) Почвы в центральной части Петродворцового района на участке Стрельна-Университет подвергаются слабому техногенному воздействию, не превышающему обычного для окраинных районов города;

2) Наиболее интенсивно почвы загрязняются свинцом, ртутью, цинком (1 класс опасности), хромом (2 класс), что является специфической особенностью для данного участка города;

3) Процессом, вследствие которого осуществляется максимальное поступление тяжёлых металлов в окружающую среду, наряду с воздействием промышленности и транспорта в высокой степени является деятельность жилищно-коммунального комплекса;

4) Следует отметить высокий уровень загрязнённости рядом элементов (Hd, Hg, Cr, Cu) почв рекреационных зон, в том числе ГМЗ «Петергоф» и парка «Александрия», являющихся местами массового отдыха населения и испытывающих значительную антропогенную нагрузку от размещённых в их пределах хозяйственных объектов заповедника.

5. В соответствии с СанПиН в пределах обследованной территории Петродворцового района опасная и чрезвычайно опасная категория загрязнения свинцом установлена в 47% проб, цинком – в 33% проб. То есть даже в этой рекреационной зоне города 50% территории требует санации (в соответствии с необоснованно «жёсткими» санитарными требованиями, но не в связи с реальной угрозой здоровью населения).

По данным опробирования почвогрунтов на загрязнение органическими соединениями, уровень загрязнения почв на большей части территории Петродворцового района бенз[а]пиреном соответствует категориям «чистая» и «допустимая», уровень загрязнения почв нефтепродуктами соответствует категории «допустимая». На территории Петродворцового района не обнаружено участков радиоактивного загрязнения. Повышенного уровня объёмной активности радона в границах участка также не выявлено (Экологическая обстановка в Петродворцовом..., 2017).

К 2013 году было обследовано почти 50% территории Петродворцового района (5378 га). К категории загрязнения почв «допустимая» относятся 3590 га, а к категории «умеренно-опасная» 1400 га. На изученной территории выявлено 4 локальных участка, почвы которых характеризуются категорией «чрезвычайно-опасная» ($Zc > 128$ усл.ед.). По

степени загрязнения тяжёлыми металлами Петродворцовый район занимает 17 место в городе, что характеризует его как наиболее химически незагрязнённого.

Петродворцовый учебно-научный комплекс. К началу 1950-х годов прошлого века Ленинградский государственный университет им. А.А.Жданова (ныне Санкт-Петербургский государственный университет) занимал много территориально обособленных зданий, находящихся в разных районах Ленинграда. Это усложняло управление и препятствовало эффективному развитию университета. Когда стало ясно, что разместить развивающийся университет в городе невозможно, для расширения был выбран Петергоф. В 1959 году Совет министров СССР принял решение о строительстве в Петродворце первой очереди для физического факультета. В 1966 г. было принято решение о проектировании и строительстве комплекса зданий для Ленинградского университета (Половцев, 2013). Проект планировки западной части Петродворца представлен на рис. 8.

Первым был построен в 1971 г. физический факультет. Затем был возведен главный корпус Научно-исследовательского института физики, куда на протяжении 1971-1975 гг. переместились научно-исследовательские лаборатории и другие структурные подразделения физиков. Во второй половине 70-х годов в новый университетский комплекс переехали факультеты прикладной математики - процессов управления, математико-механический и химический. Новые корпуса, оснащенные современным оборудованием, получили институт математики и механики, астрономическая обсерватория и вычислительный центр, институт химии, институт вычислительной математики и процессов управления. Были также построены студенческие общежития, жилые дома для сотрудников университета (История Петродворца, сайт СПбГУ).



Рис. 8. Общий план проектируемого комплекса Ленинградского государственного университета им. А.А.Жданова в городе Петродворце. ЛенНИИпроект, 1968-69 гг.

Сейчас на территории ПУНКа расположены четыре факультета, 10 общежитий (рис.9), где проживают более 6000 обучающихся, Дворец культуры и науки, также имеются продуктовые магазины, прачечная, парикмахерская, санаторий-профилакторий.



Рис. 9. Современный вид части Петродворцового учебно-научного комплекса (http://www.wikiwand.com/ru/Петродворцовый_учебно-научный_комплекс)

Характеристика Василеостровского района. Василеостровский район включает в себя два крупных острова, разделенные небольшой речкой Смоленкой: Васильевский и остров Декабристов, а также небольшой Серный остров. Общая площадь района – 2146,88 га. Его границами служат реки Большая Нева с севера и Малая Нева с юга. Васильевский остров — самый крупный в Невской дельте. Его западная сторона, обращенная к Финскому заливу, является центральным звеном «морского фасада» Петербурга, а восточная оконечность — Стрелка — входит в панораму общегородского центра (Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга). Численность населения - 211 048 человек. Плотность населения - 13,3 человека на 1 кв. км. Общая жилая площадь - 4120 тыс. кв. метров. Количество зданий - 1911 в том числе: жилых - 1189, нежилых - 722. Зданий, построенных до 1917 года – 812. Протяженность дорог - 86,9 км. Количество предприятий и организаций в районе – 21283. Количество крупных и средних предприятий - 354, из них промышленных – 48 (Экологическая обстановка в Василеостровском..., 2017).

В Василеостровском районе Санкт-Петербурга на 01.01.2016 расположено 143 объекта зеленых насаждений общего пользования городского значения (86,9 га), 304

объекта зеленых насаждений общего пользования местного значения (50,5 га), 60 объектов зеленых насаждений, выполняющих специальные функции, в части уличного озеленения (50,5 га). Обеспеченность населения Василеостровского района Санкт-Петербурга зелеными насаждениями общего пользования городского и местного значения, зелеными насаждениями ограниченного пользования составляет 10,4 м²/чел при суммарной площади указанных видов зеленых насаждений 218,4 га.

В береговой зоне реки Смоленки наблюдается развитие негативного геологического процесса - боковой эрозии, в результате которого происходит размыв берегов и существующих берегоукреплений.

По данным о состоянии почвогрунтов Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга восточная часть района характеризуется «опасной» (67% территории - 1015га) и «чрезвычайно опасной» степенью загрязнения (15% территории – 225 га), северо-западная, расположенная в районе современной застройки, характеризуется «допустимым» и «умеренно-опасным» загрязнением. Выявленные участки химического загрязнения в основном связаны с деятельностью предприятий района в южной части острова. Некоторые участки загрязнения связаны с так называемым историческим загрязнением почвогрунтов, в том числе территория Межфакультетского учебного центра СПбГУ на Среднем проспекте и главного здания СПбГУ на Университетской набережной. Несколько участков «чрезвычайно опасного» загрязнения связаны с влиянием автотранспорта – в районе Среднего и Большого проспектов, на пересечении Наличной улицы и Малого проспекта. Василеостровский район существенно загрязнён тяжёлыми металлами и занимает 4 место среди районов города по степени загрязнённости.

Территория кампуса на Университетской набережной. Здание Двенадцати коллегий было возведено в 1722-1742 годах. Это одна из самых ранних построек Васильевского острова. Во времена постройки здание предназначалось для размещения Сената, Синода и коллегий – высших органов государственного управления России, учрежденных Петром I. В начале 19 века коллегии были заменены министерствами. Проект здания был разработан Доменико Трезини и А.Ф.Щедриним. Крупнейший по размерам памятник петровского барокко состоит из двенадцати идентичных трёхэтажных секций.

В 1804 году в здании расположился Педагогический институт, а в 1835 году здание было передано Санкт-Петербургскому университету. На рисунке 10 – генеральный план кампуса университета в 1901 г. На плане можно увидеть как здание 12 коллегий, так и

территорию Ботанического сада, химическую лабораторию, астрономическую обсерваторию, ботанический кабинет и т.д.

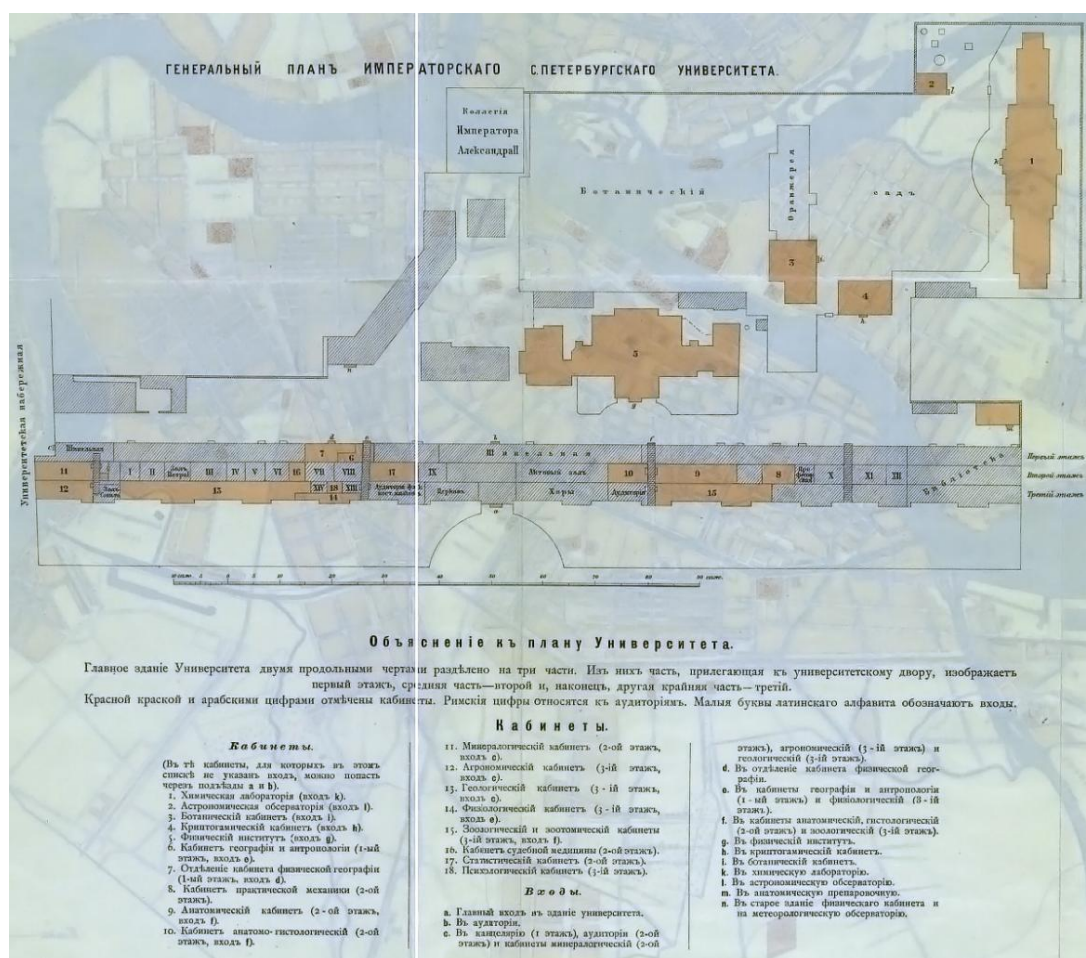


Рис. 10. Генеральный план Императорского Санкт-Петербургского университета, 1901 г. (Архитектурный сайт Санкт-Петербурга)

В настоящее время здание Двенадцати коллегий (рис. 11) считается главным зданием Санкт-Петербургского государственного университета. На Университетской набережной находится также Ботанический сад СПбГУ, история которого начинается в начале XIX века. Инициатором его создания стал ботаник А.Н. Бекетов. В 1935 году Ботанический сад получил статус памятника истории и культуры, находящийся под охраной государства.



Рис. 11. Здание 12 коллегий (Официальный городской туристический портал Санкт-Петербурга)

Также комплекс зданий СПбГУ на Васильевском острове входят:

1. Ректорский флигель (Университетская наб., 9). Административное здание.
2. Дворец Петра II (Университетская наб., 11 - Филологический пер., 1). Здание кадетского корпуса, построенного в XVIII веке. С 1937 года — филологический и восточный факультеты СПбГУ.
3. Корпус для игры в мяч ("же-де-пом") (Университетская наб., 7-9-11, лит.О). В настоящее время здесь расположена кафедра физической культуры и спорта.
5. Бассейн
6. Здание Александровской коллегии (Административный корпус, Кафедра геохимии, Бухгалтерия).
7. Кафедра биофизики.
8. Институт земной коры. Котельная.
9. Физический институт.
10. Кафедра генетики и селекции.
11. Кафедра ботаники.
12. Оранжереи.
13. Астрономическая обсерватория. Глазенаповский дом - Служба времени СПбГУ.
14. Менделеевский центр.
15. Столовая (Биржевая линия, 4).

4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы почв для исследования были отобраны в ноябре 2016 г. и апреле 2017 г. с глубины 0-30 см согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 (1984). Количество проб – 20 с территории ПУНКа и 19 с территории кампуса на Университетской набережной, всего было отобрано 39 проб.

Точки, с которых были отобраны пробы, расположены следующим образом: на территории ПУНКа точки №1 - №7 расположены рядом с общежитиями студенческого городка, точки №8 - №20 – рядом с учебными корпусами СПбГУ (Институт химии, Физический факультет, Факультет прикладной математики и процессов управления, Математико-механический факультет). На Университетской набережной точки №4 – №7 находятся в пределах Ботанического сада СПбГУ, №11 – №16 вдоль главного фасада здания Двенадцати коллегий, остальные 9 точек расположены со стороны западного фасада здания и между другими корпусами СПбГУ.

Отобранные пробы упаковывались в полиэтиленовые упаковки с сопроводительными подписями и были транспортированы в лабораторию для подготовки к дальнейшему исследованию. Пробподготовка включала в себя доведение проб почвы до состояния воздушно-сухой влажности, удаление органических остатков и антропогенных артефактов, просеивание через сита с диаметром ячеек 0,25-1 мм. Лабораторно-аналитические работы проводились в лаборатории кафедры прикладной экологии СПбГУ.

Отобранные пробы почв анализировались на содержание валовых форм тяжёлых металлов (Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V) и мышьяка (As) методом атомно-абсорбционной спектроскопии. В дальнейшем полученные значения сопоставляли с фоновыми концентрациями и предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), указанными в МУ 2.1.7.730-99 .

Для каждой пробы почв были рассчитаны индексы суммарного загрязнения почв (Z_c и $Z_{ст(г)}$), индексы загрязнения почв (ИЗП). Оценка уровня загрязнения почв как индикаторов неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводилась по таким показателям как коэффициент концентрации химического вещества K_k и суммарный показатель загрязнения Z_c , равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов. Фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах Санкт-Петербурга указаны в «Пособии по вопросам изучения загрязнённых земель и их санации» (Сорокин и др., 2012). Комплексный показатель суммарного загрязнения $Z_{ст(г)}$ учитывает среднее геометрическое коэффициентов K_k и токсичность тяжёлых элементов. Индекс

загрязнения почв ИЗП использует нормативные лимитирующие показатели, по существу представляя собой интегральный уровень ПДК.

Была определена актуальная кислотность почвенных проб. Почву, предварительно высушенную и просеянную через сито 1 мм, взвешивают на аналитических весах. Вытяжки и суспензии для измерения рН готовят при отношении почвы к воде, равном 1:2,5 (Орлов, 1985). Полученные суспензии измеряются рН-метром. Потенциометрический способ определения кислотности почв, основанный на измерении электродвижущей силы гальванического элемента, является наиболее современным и быстрым. Гальванический элемент состоит из электрода сравнения с известным потенциалом и индикаторного электрода, потенциал которого зависит от концентрации активных ионов в исследуемом растворе. В качестве индикаторного электрода используют стеклянный электрод рН-метра (Федорец, Медведева, 2009).

Оценка микробиологической активности почв (базальное дыхание) производилась по объёму выделившегося из инкубируемых проб углекислого газа, который поглощался раствором щелочи.

Определение содержания органического углерода для расчёта содержания гумуса в почве производилось по методу Тюрина (Химический анализ почв, 1995). Из косвенных методов определения гумуса этот метод пользуется наибольшим распространением. Сущность метода в окислении гумуса титрованным раствором хромовой кислоты и титрометрическом определении неизрасходованного остатка кислоты. По количеству израсходованного окислителя выявляется количество углерода в почве, а по содержанию последнего – процентное содержание гумуса.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

5.1. pH водной суспензии

Кислотность почв вызывается ионами водорода и алюминия. Она является очень важной характеристикой, так как с реакцией почвенного раствора связаны процессы превращения компонентов минеральной и органической частей почвы: растворение веществ, образование осадков, диссоциация, возникновение и устойчивость комплексных соединений, миграционные процессы органоминеральных соединений. Особенно важно знать кислотность городских почв, испытывающих загрязнение поллютантами, которые вызывают изменение кислотно-основных свойств (Федорец, Медведева, 2009). Градации кислотности (щелочности) почв по величине pH приведены в табл. 4.

Таблица 4

Градации кислотности (щелочности) почв по величине pH (Федорец, Медведева, 2009)

Почвы	pH 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

Значения водородного показателя (pH) водных суспензий для почв исследуемых территорий составляют от 6,02 до 8,48 условных единиц. По величине данного показателя исследуемые почвы относятся преимущественно к слабощелочным и щелочным почвам. Значения pH для каждой почвенной пробы отображены на диаграммах (рис. 12 и 13).



Рис. 12. pH водной суспензии для почв ПУНКа

По показателю рН почвенные пробы с территории ПУНКа характеризуются следующими типами почв:

- слабокислая – 1 проба (перед Физическим факультетом)
- нейтральная – 1 проба (НИИ Физики)
- слабощелочные – 9 проб
- щелочные – 9 проб

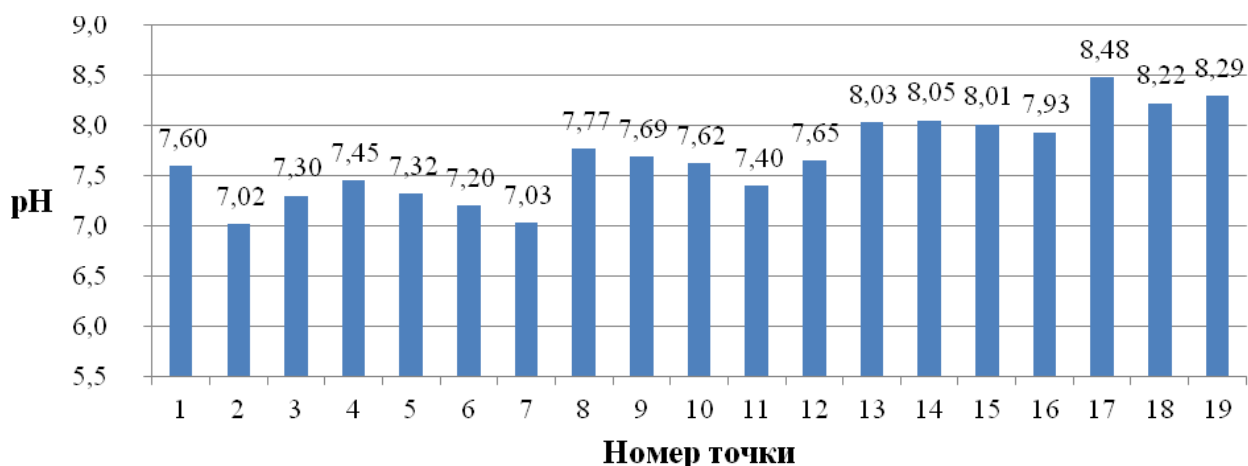


Рис. 13. рН водной суспензии для почв Университетской набережной

Для почв Университетской набережной получены следующие результаты:

- слабощелочные – 7 проб
- щелочные – 12 проб

Почвы более щелочные на территории Университетской набережной. Подщелачивание верхних горизонтов свойственно многим городским почвам (Дымов и др., Walker). Подщелачивание городской почвы можно объяснить поступлением большого количества пыли, содержащей карбонаты кальция и магния, выбросами и включениями строительного мусора (Сродных, Нечаева, 2008). рН городских почв изменяется вследствие многолетнего поступления в них подщелачивающих веществ (хлорид натрия – в качестве антигололедного средства; строительные материалы — известь, цемент; промышленные выбросы). Природные фоновые почвы и городские почвы имеют противоположные показатели буферной емкости к подщелачиванию, так как в городских почвах отсутствуют механизмы компенсации изменения рН поступивших веществ. В исследованиях почвенного покрова Калининграда (Виноградова, 2013) показано, что общая тенденция заключается в снижении буферной емкости почв к подщелачиванию от периферии города к его центру. Это обусловлено увеличением влияния антропогенных факторов от окраин к историческому ядру города, где оказывалось самое длительное по

времени и наиболее активное влияние человека на природные процессы, протекающие в почвенном покрове. Происходит механическое нарушение почвенной структуры, внесение отходов строительства, применение химических реагентов.

5.2. Микробиологическая активность почв (базальное дыхание)

Скорость продуцирования углекислоты почвой – базальное дыхание – один из важных показателей состояния микробиоценозов почв. В биодиагностике почв большое значение имеет определение почвенного дыхания как интегрального показателя работы всей биоты. Интенсивность выделения углекислоты даёт достоверную информацию о напряженности микробиально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв (Федорец, Медведева, 2009).

Согласно проведённой оценке микробиологической активности почв кампуса СПбГУ, показатель эмиссии углекислого газа на территории Университетской набережной варьируется от 82 до 214 мг CO₂ на 100 г почвы/сутки (рис. 14), а у проб, отобранных в ПУНКе – от 88 до 220 мг CO₂ на 100 г почвы/сутки (рис. 15). Почвы урбозкосистемы способны в среднем к большему микробному дыханию, чем, например, пахотные. Можно полагать, что газопродукционная активность (эмиссия CO₂) городских ареалов будет сопоставима с таковой для почв естественных экосистем (Ивашенко и др., 2014).

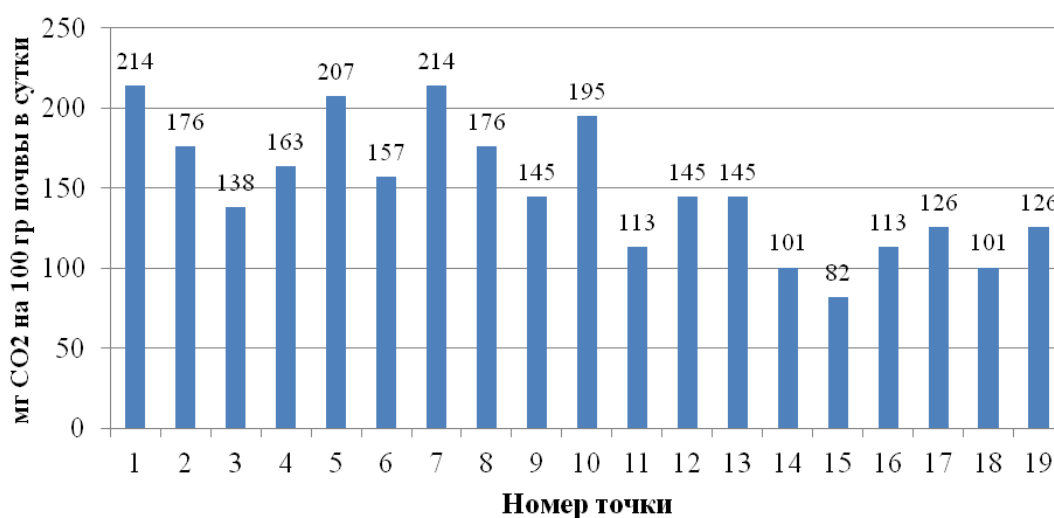


Рис. 14. Базальное дыхание почв Университетской набережной

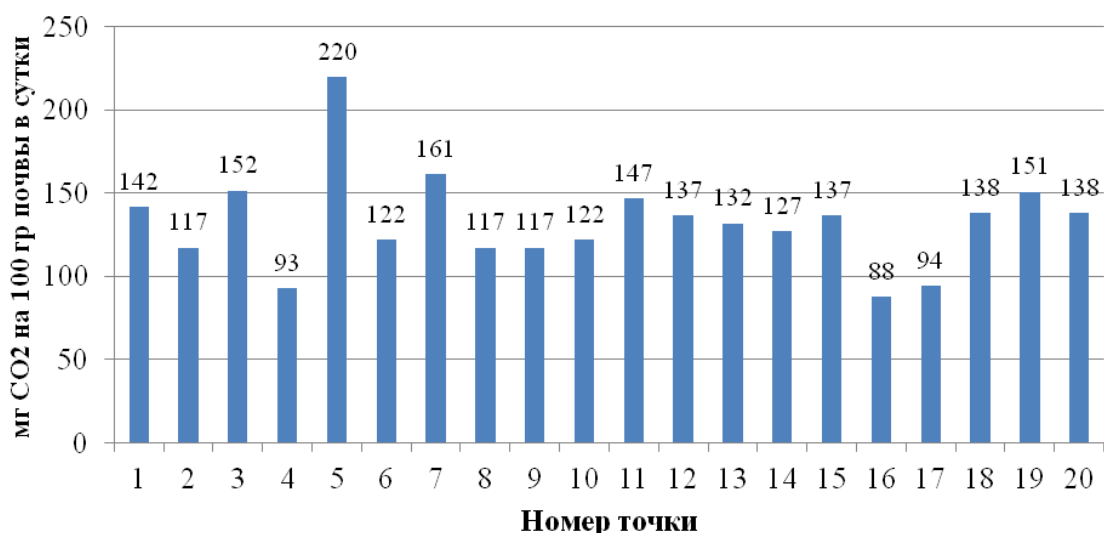


Рис. 15. Базальное дыхание почв ПУНКа

5.3. Содержание органического углерода и гумуса

В состав гумуса входят три группы органических соединений: 1) вещества исходных органических остатков (белки, углеводы, лигнин, жиры и т.д.), 2) промежуточные продукты их превращения (аминокислоты, оксикислоты, фенолы, моносахариды и т.д.) и 3) гумусовые вещества, которые составляют главную и специфическую часть гумуса. Прямых методов определения общего количества гумуса в почве нет. Косвенным приёмом определения общего количества гумуса является вычисление содержания его по количеству углерода в почве. Предполагая, что среднее содержание углерода в гумусе равно 58%, общее количество его в почве можно вычислить путём умножения процентного содержания углерода в почве на условный коэффициент 1,724 (Федорец, Медведева, 2009). Показатели гумусного состояния почв приведены в таблице 5.

Таблица 5

Содержание гумуса в гумусных горизонтах (по Гришиной и Орлову, 1978)

Уровень содержания гумуса	% гумуса в почве
очень высокий	>10
высокий	6 – 10
средний	4 – 6
низкий	2 – 4
очень низкий	<2

По результатам проведённого анализа содержание органического углерода в пробах с территории Университетской набережной (рис. 16) варьирует от 0,79 до 5,45%

(от 1,36 до 9,4% в пересчёте на гумус – от очень низкого до высокого уровня (рис. 17). В пробах с территории ПУНКа разброс содержания углерода (рис. 18) больше – от 0,2 до 6,18% (от очень низкого до очень высокого уровня содержания гумуса – рис. 19).

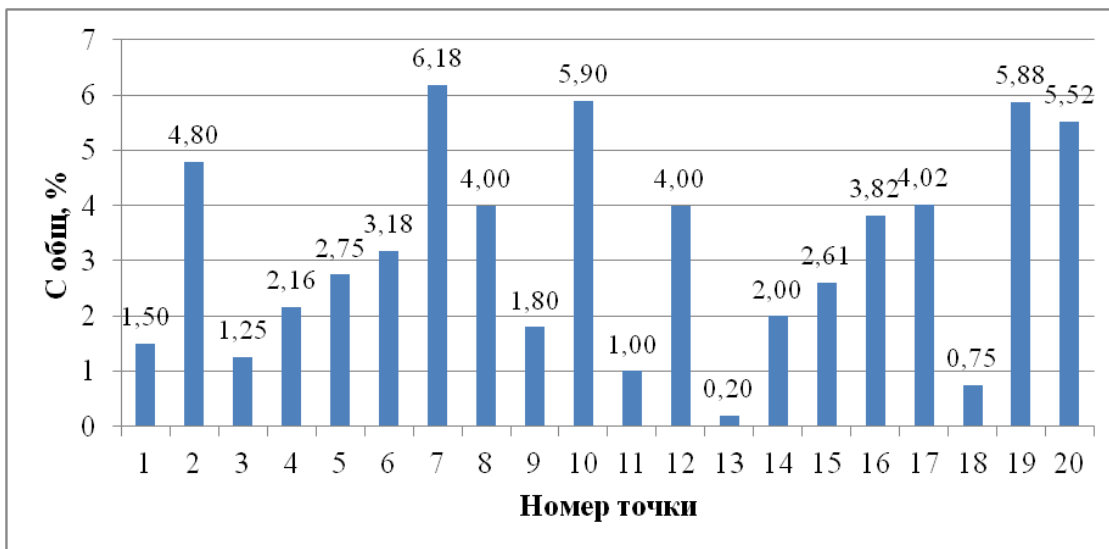


Рис. 16. Содержание органического углерода в пробах почвы ПУНКа

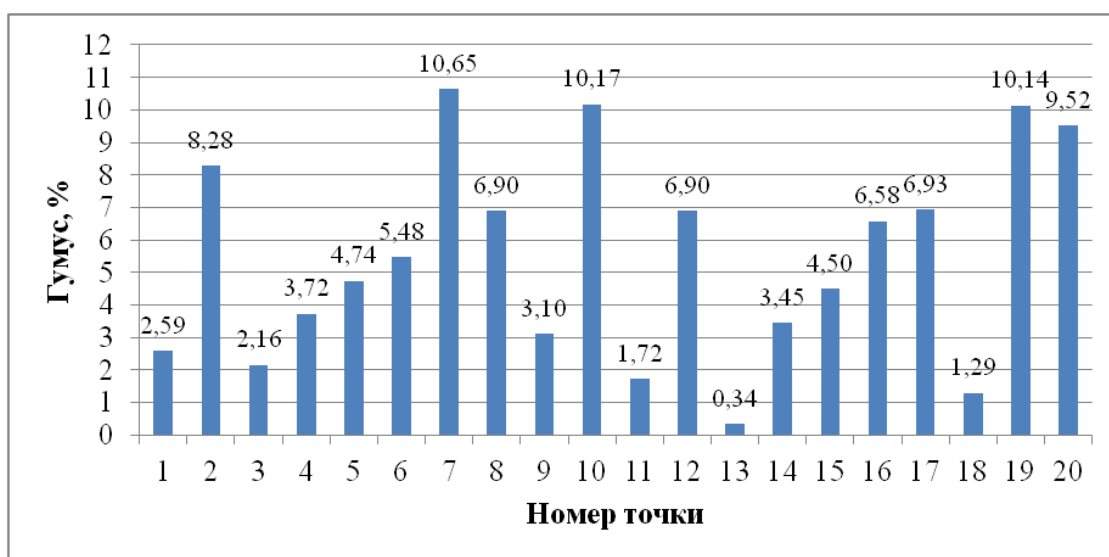


Рис. 17. Содержание гумуса в пробах почвы ПУНКа

Пробы почвы с территории ПУНКа характеризуются следующими уровнями содержания гумуса:

- очень низкий – 3 пробы
- низкий – 5 проб
- средний – 3 пробы
- высокий – 5 проб
- очень высокий – 3 пробы

Среднее содержание гумуса в этих пробах – 5,46%, что также соответствует среднему уровню гумусности.

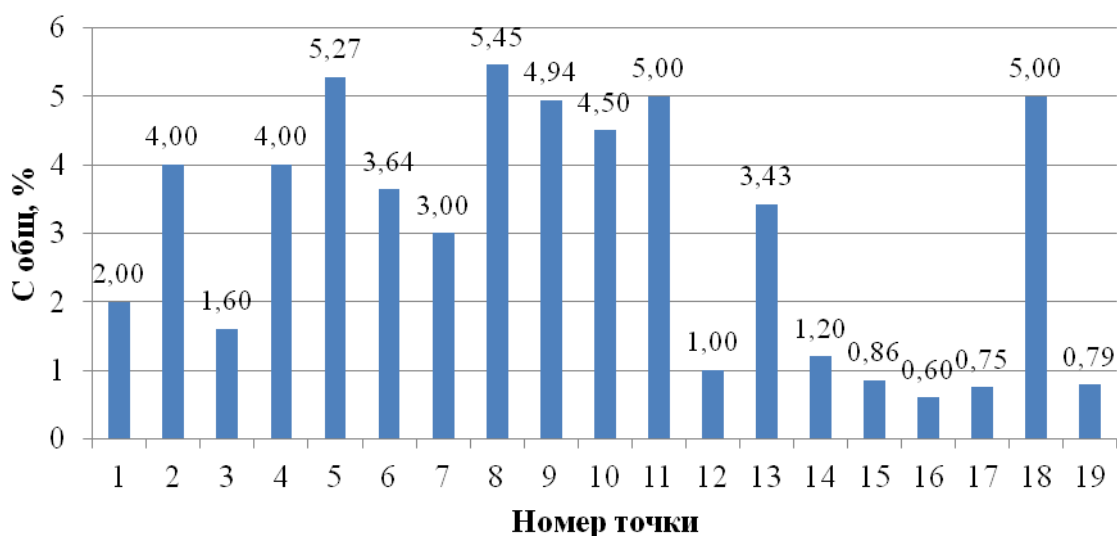


Рис. 18. Содержание органического углерода в пробах почвы
Университетской набережной

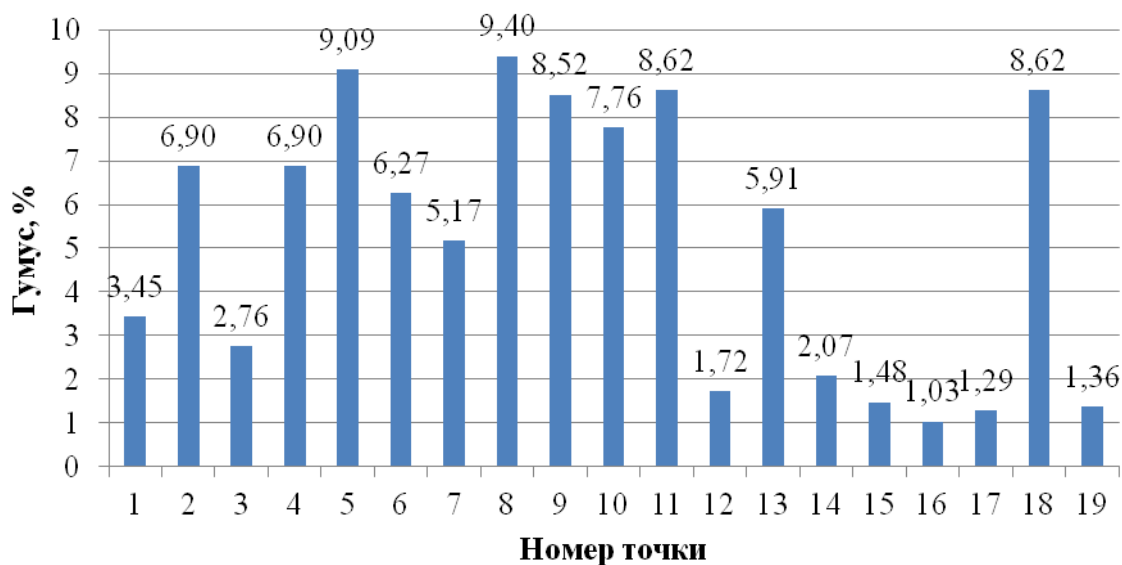


Рис. 19. Содержание гумуса в пробах почвы Университетской набережной

Уровни содержания гумуса проб почв с территории ПУНКа:

- очень низкий – 5 проб
- низкий – 3 пробы
- средний – 2 пробы
- высокий – 9 проб

Среднее содержание гумуса составляет 5,17%, что является средним уровнем.

5.4. Оценка загрязнённости почв

В настоящее время особое значение приобрело загрязнение биосферы группой поллютантов, получивших общее название «тяжёлые металлы». К тяжёлым металлам относят более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомным весом свыше 50 а.е.м. Часть техногенных выбросов тяжёлых металлов, поступающих в атмосферу в виде аэрозолей, переносится на значительные расстояния и вызывает глобальное загрязнение. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоёмы, где накапливается в водах и донных отложениях и может стать источником вторичного загрязнения. Основная масса выбросов осаждается в непосредственной близости от источников загрязнения – это чаще всего промышленные предприятия. Сильное загрязнение тяжёлыми металлами (свинцом, кадмием, цинком) обнаруживается вблизи автомагистралей (Федорец, 2009).

Тяжёлые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Для техногенных территорий характерен независимо от типа почвы регрессионно-аккумулятивный тип распределения в профиле, проявляющийся в накоплении тяжёлых металлов в верхнем гумусовом горизонте и резком снижении содержания в нижележащих горизонтах.

Содержание валовых форм тяжёлых металлов и мышьяка в почве на территориях кампуса СПбГУ приведено в Приложении А. Для свинца обнаружено превышение ПДК почти во всех пробах, отобранных на Университетской набережной и в половине проб из ПУНКа. Содержание мышьяка, цинка и никеля превышает ПДК во всех взятых пробах. Для меди превышение обнаружено в большинстве проб, взятых с Университетской набережной, и в 11 пробах из ПУНКа. Для хрома превышение ПДК характерно для всех проб, за исключением одной, взятой на Университетской набережной. Загрязнение хромом сильно влияет на биологическую активность почвы. За счет уменьшения выделения энергии при ухудшении почвенного дыхания тормозятся важные биохимические процессы (Евреинова и др., 2004). Ранее было отмечено крайне токсичное действие хрома для биоты чернозема (Колесников, 2010), что подтверждает выявленные нами закономерности.

Небольшое превышение ПДК по кобальту наблюдается в меньшей половине проб. Для ванадия превышение найдено только в одной пробе на Университетской набережной.

На основании полученных данных были рассчитаны индексы суммарного показателя загрязнения (Z_c). Данные о фоновом содержании элементов представлены в

таблице 6. Анализ данных по суммарному индексу загрязнения Z_c (арифметическая сумма) показал, что в большинстве проб (13 из 19) на Университетской набережной загрязнение по степени опасности характеризуется как опасное ($32 < Z_c < 128$) (рис. 20), по три пробы – умеренно опасная ($16 < Z_c < 32$) и допустимая категория ($Z_c < 16$).

Из проб, отобранных с территории ПУНКа, только одна проба характеризуется опасной категорией загрязнения (точка отбора пробы – у Института химии), в 13 пробах категория загрязнения характеризуется как допустимая, для остальных 6 проб категория загрязнения – умеренно опасная (рис. 21).

Таблица 6

Содержание химических элементов в почвах Санкт-Петербурга (мг/кг) (Сорокин и др., 2012)

Элемент	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V
Фоновое содержание	19,11	2,62	43,1	18	15,3	4,1	12,5	16,2



Рис. 20. Суммарные показатели загрязнения почв Университетской набережной

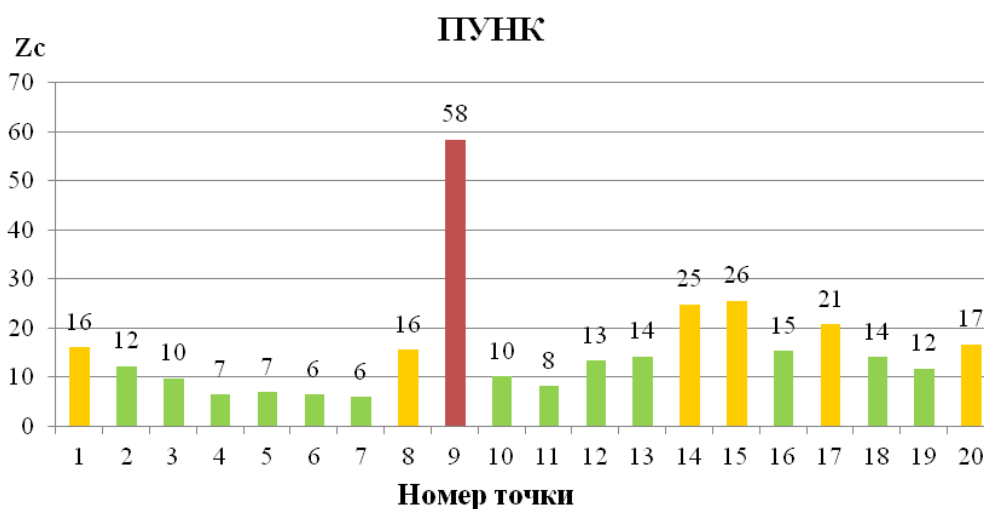


Рис. 21. Суммарные показатели загрязнения почв ПУНКа

В Приложении В показан вклад каждого элемента в суммарный показатель загрязнения для некоторых проб.

Также для каждой пробы был рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения ($Z_{ст}(г)$), учитывающий среднее геометрическое коэффициентов K_k и токсичность тяжёлых элементов (Водяницкий, 2010). $Z_{ст}(г)$ рассчитывается по формуле:

$$Z_{ст}(г) = n \times [(K_{k1} \times K_{t1}) (K_{k2} \times K_{t2}) \times \dots \times (K_{kn} \times K_{tn})]^{1/n - (n - 1)},$$

где K_k – коэффициент концентрации химического вещества, K_t – коэффициент токсичности, n – количество определяемых ингредиентов. Коэффициенты токсичности для разных элементов указаны в таблице 7.

Таблица 7

Классы опасности тяжелых металлов и металлоидов и коэффициенты токсичности K_t

Класс опасности	K_t	Химические элементы
1	1,5	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, никель, хром
2	1,0	Бор, кобальт, молибден, медь, сурьма
3	0,5	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций

В случае использования комплексного показателя суммарного загрязнения почв $Z_{ст}(г)$ результаты изменяются в большинстве случаев незначительно (рис. 21 и 22).



Рис. 21. Комплексные показатели суммарного загрязнения почв Университетской набережной

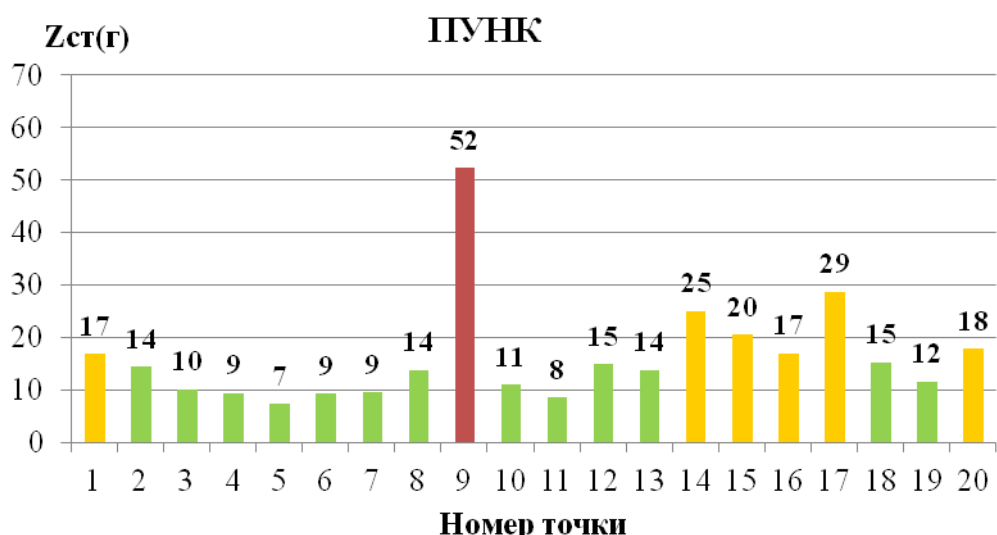


Рис. 22. Комплексные показатели суммарного загрязнения почв ПУНКа

При расчетах ИЗП используют нормативные лимитирующие показатели. ИЗП является интегральным показателем ПДК и рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗП} = \sum_{i=1}^n (C_i / \text{Спдк}) / n,$$

где $(C_i / \text{Спдк})$ – отношение содержания вещества в точке отбора пробы к ПДК, n – количество определяемых ингредиентов.

По существу ИЗП представляет собой интегральный уровень ПДК. Значения $\text{ИЗП} > 1,0$ диагностируют «загрязненный» грунт, и чем они выше, тем хуже состояние окружающей среды (Богданов, 2014).

Расчёты ИЗП показали, что все почвенные пробы обладают показателями $\text{ИЗП} > 1$, что характеризует почвы как загрязнённые (табл. 8 и 9). В среднем этот показатель выше в пробах, отобранных на Университетской набережной.

Таблица 8

ИЗП для почв Университетской набережной

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ИЗП	8,4	3,2	6,0	2,4	11,2	10,5	13,5	30,7	10,9	13,4	11,0	9,0	8,1	5,4	12,1	5,2	10,5	14,4	8,2

Таблица 9

ИЗП для почв ПУНКа

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ИЗП	4,8	3,2	3,3	2,4	2,6	2,1	2,0	3,2	14,9	2,8	2,8	3,9	4,7	8,9	4,2	4,4	6,3	3,9	3,6	5,1

6. ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований определено содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах двух территорий кампуса СПбГУ. Для обеих территорий характерно повышенное содержание мышьяка, цинка, никеля, хрома. Превышение ПДК для свинца и меди более характерно для проб, отобранных на Университетской набережной.

Большинству проб, отобранных на Университетской набережной, по степени опасности характеризуется суммарным уровнем загрязнения $32 < Z_c < 128$ (опасное загрязнение). На территории ПУНКа преобладающая категория загрязнения – допустимая ($Z_c < 16$). При использовании комплексного показателя суммарного загрязнения почв результаты практически не изменяются.

Все почвенные пробы обладают показателями $ИЗП > 1$ (загрязнённые почвы). Для почв, отобранных на Университетской набережной, этот показатель в среднем выше.

Показатели микробиологической активности схожи у почв двух исследуемых территорий; содержание гумуса характеризуется как среднее также на обеих территориях кампуса.

Таким образом, для почвенного покрова на Университетской набережной более характерно превышение валового содержания тяжёлых металлов, уровень загрязнения выше, чем для почвенного покрова в ПУНКе. Причина этого вероятно в том, что на почвы исторической части Санкт-Петербурга оказывается антропогенное воздействие в течение гораздо большего временного периода – около трёхсот лет. Рост жилищного и промышленного строительства, возрастающее количество автомобильного транспорта приводят к усилению комплексного техногенного воздействия на Санкт-Петербург. Загрязнение характерно для территорий крупных городов, где происходит максимальное накопление технофильных элементов и токсичных органических соединений, замыкание техногенных циклов миграции химических веществ.

Основными источниками токсических элементов в городах являются энергетические и промышленные предприятия, жилищно-коммунальное хозяйство, автотранспорт. Исследования, проведённые в различных городах, связывают повышенное загрязнение почвенного покрова тяжёлыми металлами с большим количеством работающих промышленных предприятий и высокой степенью транспортной нагрузки. Для тяжёлых металлов характерна стабильность в окружающей среде, а также высокая способность к биоаккумуляции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Апарин Б.Ф., Русаков А.В. Почвы и почвенный покров зоны восточного полукольца кольцевой автодороги (КАД) вокруг Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета, сер. 3, вып. 2 (№11), 2003.
2. Атлас «Ленинград» (историко-географический атлас) // Под ред. Разумихина В.В., 1981. – 120 с.
3. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / Отв. ред. В.Н.Храмцов, Т.В.Ковалёва, Н.Ю.Нацваладзе. – СПб., 2016. 176 с.
4. Батракова Г.М., Ташкинова И.Н. Задачи геоэкологического обследования загрязнённых территорий при обосновании способа их деконтаминации и рекультивации // Вестник ПНИПУ = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urbanity. Урбанистика. - 2013. - № 3(11). - С. 158-171.
5. Белых Л.И., Рябчикова И.А., Серышев В.А., Тимофеева С.С., Пензина Э.Э., Карпукова О.М., Коржова Е.Н., Смагунова А.Н. Геохимические и гигиенические интегральные показатели оценки химического загрязнения почв // Геохимия биосферы (к 90-летию А.И.Перельмана). М.– Смоленск, 2006. С.64–65.
6. Богданов Н.А. Диагностика территорий по интегральным показателям химического загрязнения почв и грунтов. Гигиена и санитария, 2014, №1, с. 92-97.
7. Василеостровский район [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_vasileostr/ (дата обращения: 21.04.2018).
8. Васильевская В.Д. Проблемы и опыт составления карт устойчивости почвенного покрова к антропогенным воздействиям // Биологические науки. 1990. №9. С. 51-59.
9. В Волгоградской области презентовали Красную книгу почв [Электронный ресурс] // Сайт Года экологии в Российской Федерации. URL: <http://ecoyear.ru/2017/11/v-volgogradskoj-oblasti-prezentovali-krasnuyu-knigu-pochv/> (дата обращения: 20.05.2018).
10. Вернадский В.И. Биогеохимические очерки. 1922-1932 гг. / В.И.Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – 250 с.
11. Виноградова С.С. Буферная ёмкость почв как их способность к подщелачиванию // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 1. С. 102—109.
12. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Почвоведение, 2010, №10, с. 1276-1280.

13. Геологический атлас Санкт-Петербурга / Отв. ред. Н.Б. Филиппов. – СПб. : Комильфо, 2009.
14. Герасимова М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие. / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева / Под ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
15. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация. Ойкумена, 2003 г.
16. Горький А.В., Петрова Е.А. Загрязнение почв Санкт-Петербурга тяжёлыми металлами [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rgesc.ru/downloads/met2009.pdf> (дата обращения: 21.04.2018).
17. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.
18. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-экологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство, выпуск №1/2011.
19. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году/ Под редакцией И.А. Григорьева, И.А. Серебрицкого – СПб.: ООО «Сезам-принт», 2017. — 158 с.
20. Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Свойства почв и почвоподобных тел г.Воркута // Почвоведение, 2013, №2, с. 240-248.
21. Евреинова А.В., Попович А.А., Колесников С.И. Использование показателей биологической активности для мониторинга и диагностики загрязнения почв тяжелыми металлами II класса опасности // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. конф. М., 2004. С. 207–208.
22. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (редакция от 31.12.2017).
23. Закон г. Москвы «Об экологическом мониторинге в городе Москве» от 20.10.2004 №65 (редакция от 07.05.2014).
24. Закон г. Москвы «О городских почвах» от 04.07.2007 №31 (редакция от 29.04.2015).
25. Здание Двенадцати коллегий - Императорский университет - Санкт-Петербургский государственный университет [Электронный ресурс] // Архитектурный сайт Санкт-Петербурга. URL: <http://www.citywalls.ru/house420.html> (дата обращения: 23.04.2018).
26. Здание Двенадцати коллегий [Электронный ресурс] // Официальный городской туристический портал Санкт-Петербурга “Visit Petersburg”. URL.: <http://www.visit-petersburg.ru/ru/showplace/196926/> (дата обращения: 23.04.2018).

27. Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудеяров В.Н., Валентини Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах // Почвоведение. 2014. №9. С. 1077–1088.
28. Импактное загрязнение почв металлами и фторидами / под ред. Н.Г.Зырина, С.Г.Махалова, Н.В.Стасюк. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 165 с.
29. Исаченко Г.А., Резников А.И. Ландшафты Санкт-Петербурга: эволюция, динамика, разнообразие // Междисциплинарный научный и прикладной журна «Биосфера», 2014, т.6, №3.
30. История Петродворца [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет. URL: <http://campus.spbu.ru/istoriya/108-istoriya-petrodvortsa.html> (дата обращения: 22.04.2018).
31. Капелькина Л.П. Загрязняющие вещества в почвах мегаполисов. Проблемы и парадоксы нормирования // Экология урбанизированных территорий. – 2010. - №3. - С. 13-19.
32. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Электронный ресурс] // ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <http://www.meteo.nw.ru> (дата обращения: 21.04.2018).
33. Когут М.Б, Шульц Э, Галактионов А.Ю, Титова Н.А. Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулоденсиметрических фракциях почв парков Москвы // Почвоведение.- 2006. - №10.- С. 1182-1189.
34. Колесников С.И. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности // Современные проблемы загрязнения почв. III Межд. конф. М., 2010. С. 362–365.
35. Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера» 2017, т. 9, № 3.
36. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ).
37. Крылов А.И., Лопушанская Е.М., Александрова А.Г., Конопелько Л.А.. Определение полиароматических углеводородов методом газовой хроматографии- масс-спектрометрии с изотопным разбавлением (ГХ/МС/ИР) // Аналитика.- 2012.- №3.- С.6-16.
38. Кухтин П.В. Урбанизированные земли как объект исследования и управления [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». Выпуск 3, май – июнь 2014. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/157EVN314.pdf> (дата обращения: 08.05.2018).

39. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004.
40. Лим Т.Е. Влияние транспортных загрязнений на здоровье человека // Экология человека.- 2010.- №1.- С 25-28.
41. Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н., Безносиков В.А., Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург) Почвоведение 2008 МАИК «Наука/Интерпериодика», Москва. С. 1494-1500.
42. Макаров О.А. Почему нужно оценивать почву? (Состояние/качество почвы: оценка, нормирование, управление, сертификация). М.: Издательство МГУ, 2003. 259 с.
43. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв: учебник/Г.В.Мотузова, О.С.Безуглова. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
44. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест. Методические указания. Минздрав России, Москва, 1999.
45. Никитина А.В., Жаткина Т.С., Курбатова А.И. Некоторые аспекты нормирования загрязняющих веществ в почве // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности .— № 5, 2013 .— С. 86-91.
46. Орлов Д.С. Химия почв: Учебник. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. — 376 с.
47. О состоянии окружающей природной среды г. Москвы в 1992 г.// Государственный доклад. М., 1993, 166 с.
48. Петродворцовый район [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_petrodv/ (дата обращения: 21.04.2018).
49. Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге // Официальный портал администрации СПб. — СПб: ООО «Сезам-принт», 2011.
50. Половцев И.Н. Университетский комплекс в Петродворце — детище академика архитектуры Игоря Фомина // Вестник гражданских инженеров. 2013. N0 5 (40). С. 52-57.
51. Попова Л.Ф. Нормирование качества городских почв и организация почвенно-химического мониторинга: учебное пособие / Л.Ф. Попова, Е.Н. Наквасина – Архангельск, 2014. – 108 с.
52. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 18.06.2013 №400 "Об Экологической политике Санкт-Петербурга на период до 2030 года" (ред. от 14.06.2017).

53. Почва, город, экология / Г. В. Добровольский, М. Н. Строганова, Т. В. Прокофьева и др. — Фонд "За экономическую грамотность". Москва, 1997. — С. 320.
54. Проблемы нормирования загрязняющих веществ в почвах / Капелькина Л.П. // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. — М.: НИИ-Природа, 2013. — 310 с.
55. Промежуточный технический отчёт. Блок деятельности 10. Нормативы качества окружающей среды. 10.4b – Особенности нормирования содержания загрязняющих веществ в почвах России и за рубежом. — СПб, 2008.
56. Сорокин Н.Д., Королева Е.Б., Лосева Е.В., Осинцева Н.В. / Пособие по вопросам изучения загрязнённых земель и их санации. СПб., 2012. — 119 с.
57. Смагин А.В. Как врачевать городские почвы // Наука в России. 2006. №6. С. 27-34
58. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). М.:Издательство МГУ, 2008. 360с.
59. Сродных Т.Б., Нечаева В.А. Почвы на объектах озеленения города Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала, №5(47), 2008 г.
60. Технический отчет проекта «Гармонизация экологических стандартов (ГЭС II). 10.4b – Особенности нормирования содержания загрязняющих веществ в почвах в России и за рубежом» / С.-Петербург. НИЦЭБ РАН, GTZ International Services GmbH. — СПб., 2008. — 18с.
61. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В., Абакумов Е.В.. Физико-химическая характеристика урбаноземов Центрального района Санкт-Петербурга. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2011. Вып. 4. С. 85 - 97.
62. Уфимцева М.Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. / Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. — СПб.: Наука, 2005. — 339 с.
63. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (редакция от 31.12.2017).
64. Федеральный закон "Об экологической экспертизе" от 23.11.1995 №174-ФЗ (редакция от 28.12.2017).
65. Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999 №52-ФЗ (редакция от 29.07.2017).
66. Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
67. Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга // Биол. науки. 1974. №10. С.7-17.

68. Федорова Н.Н. Методические указания к курсу «Биологические методы исследования почв» СПб., 2004. 8 с.
69. Химический анализ почв: Учеб. пособие/ Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. – СПб, Издательство Санкт-Петербургского университета. 1995. 264 с.
70. Чернова О.В., Бекецкая О.В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжёлые металлы и другие химические элементы). Почвоведение, 2011, № 9, с. 1102–1113.
71. Экологическая доктрина Российской Федерации (одобрена распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-р).
72. Экологическая обстановка в Василеостровском районе Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. URL:
<http://www.infoeco.ru/assets/files/godeco/vasileostrovsky.pdf> (дата обращения: 21.04.2018).
73. Экологическая обстановка в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. URL:
<http://www.infoeco.ru/assets/files/godeco/petrodvortsovy.pdf> (дата обращения: 21.04.2018).
74. Экологические функции городских почв / Под ред. А.С. Курбатовой и В.Н. Башкина. – М.: Изд-во ООО «Манджента», 2004. – 228 с.
75. Экологическое нормирование качества окружающей среды и почв / Макаров О.А. // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа, 2013. – 310 с.
76. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. URL: <http://www.infoeco.ru> (дата обращения: 20.04.2018).
77. Assessment levels for Soil, Sediment and Water, version 4, revision 1. Department of Environment and Conservation. February 2010.
URL:https://www.der.wa.gov.au/images/documents/your-environment/contaminated-sites/guidelines/2009641_-_assessment_levels_for_soil_sediment_and_water_-_web.pdf (accessed 22.04.2018).
78. Circular on target values and intervention values for soil remediation. Hague, 2000. URL: http://esdat.net/Environmental_Standards.aspx (accessed 18.04.2018).
79. Jackson R. E. et al. Contaminant Hydrogeology of Toxic Organic Contaminants

- at a Disposal Site, Gloucester, Ontario. 1. Chemical Concepts and Site Assessment, Ottawa, Ontario //IWD Scientific Series. – 1985. – №. 141.
80. Lijzen J.P.A., Baars A.J., Otte P.F., Rikken M.G.J., Swartjes F.A., Verbruggen E.M.J. and A.P. van Wezel. Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater.: RIVM (RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT) report 711701 023, 2001r
81. Soil and Water Resources Conservation Act) (Recources Conservation Act legislative authority, United States Department of Agriculture. 2001-2009. URL: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1041599.pdf (accessed 22.04.2018).
82. Vandermeulen J. H. PAH and heavy metal pollution of the Sydney Estuary: Summary and review of studies to 1987. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences, № 108 – 1989.
83. Verbruggen E.M.J., Posthumus R. and A.P. van Wezel. Ecotoxicological Serious Risk Concentration for soil, sediment and (ground) water : updated proposals for first series of compounds.: RIVM (RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT) report 711701 020, 2001r/
84. Walker T.R. Comparison of anthropogenic metal deposition rates with excess soil loading from coal, oil and gas industries in the Usa River Basin, NW Russia // Polish Polar Research. V. 26. № 4. 2005. P. 259–274.
85. Wakeham S. G., Schaffner C., Giger W. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments—I. Compounds having anthropogenic origins //Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1980. – T. 44. – №. 3. – C. 403-413.
86. Wan M. T. Railway right-of-way contaminants in the lower mainland of British Columbia: Polycyclic aromatic hydrocarbons //Journal of environmental quality. – 1991. – T. 20. – №. 1. – C. 228-234.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Содержание валовых форм тяжёлых металлов и мышьяка в почве на территориях
кампуса СПбГУ, мг/кг

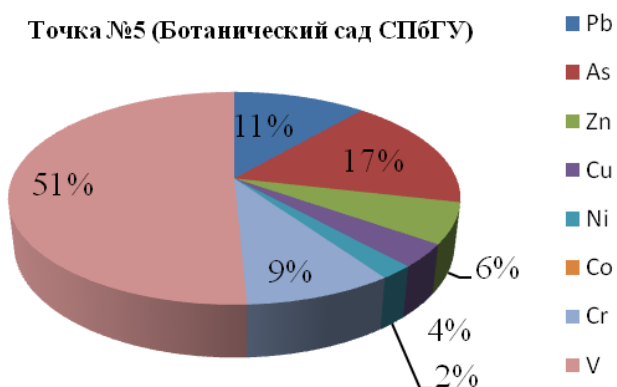
Номер точки	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V
<i>Университетская набережная</i>								
1	160	32	265	52	24	0	65	42
2	34	12	125	0	13	0	58	39
3	119	25	183	26	17	0	62	29
4	24	8	40	0	14	0	53	15
5	207	43	253	60	30	0	107	784
6	188	37	323	75	28	5	75	44
7	254	49	544	99	26	0	72	47
8	777	129	673	360	29	2	0	0
9	187	36	428	51	40	11	90	60
10	269	44	1057	39	24	4	63	31
11	244	44	214	92	25	3	69	41
12	218	42	261	41	23	2	77	47
13	220	40	200	33	24	0	73	50
14	88	20	103	22	22	5	69	47
15	93	20	269	44	167	8	82	51
16	42	12	88	40	17	7	66	47
17	211	39	394	58	31	5	76	41
18	418	78	397	62	31	8	92	50
19	103	20	307	60	27	6	67	38
<i>ПВНК</i>								
1	67	15	150	21	14	4	63	36
2	34	12	125	0	13	0	58	39
3	34	8	58	10	9	0	76	25
4	24	8	40	0	14	0	53	15
5	18	8	84	8	8	0	49	18
6	23	9	35	0	8	1	47	7
7	19	8	29	0	7	1	50	0
8	27	10	42	13	10	0	61	138
9	231	39	762	99	41	8	85	62
10	32	9	50	0	15	0	64	45
11	18	9	63	2	14	3	58	28
12	32	11	66	12	22	3	69	65
13	28	10	57	29	21	5	75	72
14	7	10	92	1,6	189	0	83	63
15	269	10	69	1	18	5	67	71
16	42	11	93	15	19	8	75	58
17	53	25	161	29	24	0	82	0
18	26	11	86	2	23	0	85	53
19	36	11	46	21	10	0	62	57
20	28	10	110	34	15	17	67	56
ПДК	32	2	23	3	4	5	6	150

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

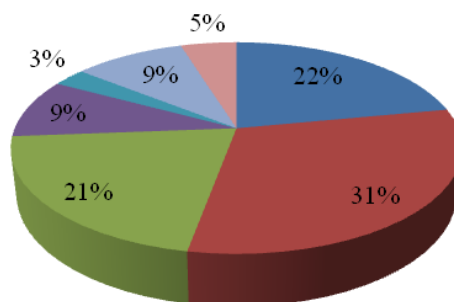
Вклад химических элементов в суммарные показатели загрязнения Zc

Пробы с Университетской набережной

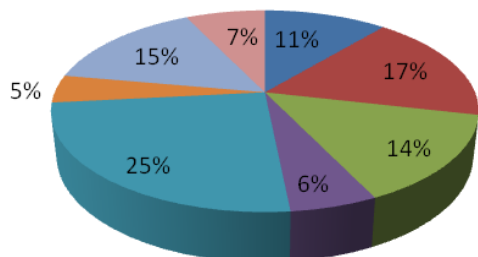
Точка №5 (Ботанический сад СПбГУ)



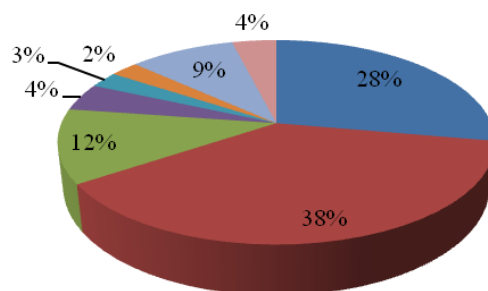
Точка №7 (Ботанический сад СПбГУ)



Точка №15 (Фасад Здания 12 коллегий)

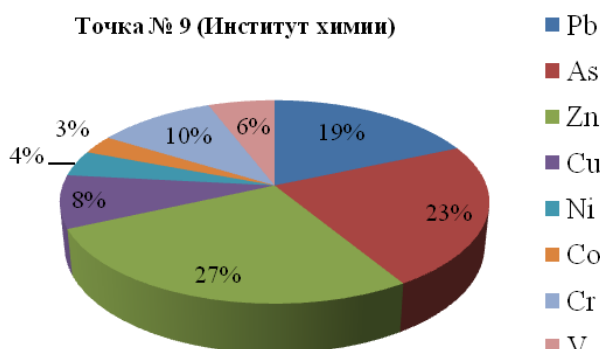


Точка №18 (Научно-исследовательский физический институт)

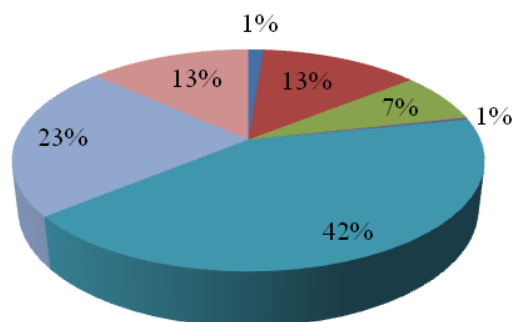


Пробы с территории ПУНКа

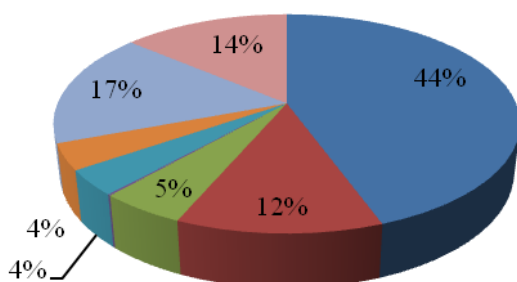
Точка №9 (Институт химии)



Точка №14 (ул. Ульяновская, напротив остановки)



Точка №15 (Физический факультет)



Точка №17 (Факультет ПМ-ПУ)

