



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Сравнительная оценка биологической активности разных типов
почв о. Валаам»

Исполнитель Перевышина Ксения Михайловна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Примак Екатерина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«20» 06 2022г.

Санкт–Петербург

2022

Оглавление

Введение	3
1. Биологическая активность почв	Error! Bookmark not defined.
1.1 Актуальная и потенциальная биологическая активность почв. Методы определения	Error! Bookmark not defined.
1.2 Основные группы почвенных микроорганизмов	Error! Bookmark not defined.
1.2.1 Функциональные группы почвенной биоты ..	Error! Bookmark not defined.
1.2.2 Микробиологическая активность в условиях антропогенного загрязнения	Error! Bookmark not defined.
1.3 Ферментативная активность	Error! Bookmark not defined.
1.4. Ферментативная активность в условиях антропогенного загрязнения .	Error! Bookmark not defined.
2. Применение показателей биологической активности в экологическом мониторинге состояния почв	Error! Bookmark not defined.
2.2 Экологический мониторинг состояния окружающей среды	Error! Bookmark not defined.
2.3 Почвенный экологический мониторинг	Error! Bookmark not defined.
3. Материалы и методы	Error! Bookmark not defined.
3.1 Краткая характеристика природного комплекса Валаамского архипелага	Error! Bookmark not defined.
3.2 Материалы	Error! Bookmark not defined.
3.2.1 Характеристика точек отбора почвенных образцов	Error! Bookmark not defined.
3.3 Исследуемые параметры	Error! Bookmark not defined.
3.4 Методы исследования	Error! Bookmark not defined.
4 Результаты и обсуждение	Error! Bookmark not defined.

4.1	Агрохимические свойства почв исследуемых участков	Error! Bookmark not defined.
4.2	Результаты определения кислотности	Error! Bookmark not defined.
4.3	Содержание органического вещества	Error! Bookmark not defined.
4.4	Полученные данные биологической активности исследуемых почв	Error! Bookmark not defined.
4.4.1	Ферментативная активность	Error! Bookmark not defined.
4.4.2	Эмиссия углекислого газа	Error! Bookmark not defined.
4.4	Сравнительная оценка биологической активности исследуемых участков.....	Error! Bookmark not defined.
4.5	Расчет интегрального показателя эколого-биологического состояния почв.....	Error! Bookmark not defined.
5	Статистическая обработка результатов определения почвенных параметров.....	5
5.1	Кластерный анализ распределения исследуемых параметров.....	5
5.2	Кластерный анализ общего распределения исследуемых параметров	13
5.3	Корреляционный анализ результатов	16
	Заключение	18
	Список использованных источников	23
	Приложение А	27
	Приложение Б.....	28

Введение

В условиях постоянно нарастающей антропогенной нагрузки на естественные экосистемы важной задачей является поиск и разработка методов оценки состояния компонентов окружающей среды. Мониторинг качества почвенных ресурсов в настоящее время представляется наиболее сложным и трудоемким для исследователей. Система контроля за состоянием почв основывается на сравнении компонентного состава почвы с предельно допустимыми концентрациями загрязняющих веществ и не учитывает оценку выполнения важнейших функций, таких как трансформация вещества и энергия, регулирование газового состава и др. Методы определения содержания загрязняющих веществ в почве, как правило, отличаются трудоемкостью и сложностью проведения анализа, требующей высокой квалификации исследователя.

Микробиота и почвенные ферменты во многом обуславливают протекание различных биохимических реакций, лежащих в основе экосистемных функций почвы. Микробиологические параметры в условиях антропогенного загрязнения изменяются в первую очередь и могут быть использованы в качестве индикаторов изменений качества почвы. Поэтому в последнее время исследователи уделяют особое внимание разработке параметров и методов для оценки микробиологической и ферментативной активности почвы.

Остров Валаам является площадкой экологического мониторинга учебно-научной станции «Валаам», в задачи работы которой входит наблюдение за состоянием водных и наземных экосистем острова. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки необходимо увеличение числа объектов и параметров для экологического мониторинга. В программу почвенного экологического мониторинга острова Валаам ранее не входили параметры микробиологической и ферментативной активности. В связи с чем, актуальна проблема поиска и внедрения простых и недорогостоящих методов оценки биологической

активности почв, которые могут быть включены в программу полевых и лабораторных исследований научно-исследовательской станции.

Цель работы – проведение сравнительной оценки биологической активности разных типов почв острова Валаам.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. выбор показателей и методов оценки биологической активности почв;
2. определение ряда физико-химических показателей почв;
3. определение эмиссии углекислого газа, как показателя интенсивности развития почвенной микробиоты;
4. определение ферментативной активности почв;
5. проведение интегральной оценки эколого-биологического состояния почвы;
6. выявление закономерности пространственного распределения величины биологической активности.

5 Статистическая обработка результатов определения почвенных параметров

5.1 Кластерный анализ распределения исследуемых параметров

В качестве исходных данных для статистической обработки были взяты ряды значений различных параметров, определяющих биологическую активность почвы, таких как водородный показатель, общий углерод, целлюлозолитическая активность, активность каталазы, активность уреазы, эмиссия углекислого газа.

Целью данного анализа было нахождение различий по рассмотренным почвенным параметрам для различных участков. Для анализа данных был выбран метод кластерного анализа (Метод Уорда).

Расчет проводился в программах Past4 и Excel. Для всех полученных классификаций проведено сравнение средних значения по критерию Стьюдента. В результате, все значения $t^* > t_{кр}$ по модулю, следовательно, классы не требуют объединения.

РН водной вытяжки

Для актуальной кислотности было выделено 3 класса. Как видно из дендрограммы на Рисунке 10, к первому классу были отнесены точки (П1, П2, П3), расположенные непосредственно на территории ТКО вблизи к месту сжигания отходов. Данному классу соответствуют значения рН в диапазоне от 8,29 до 8,75 (реакция среды слабощелочная). Поскольку эти точки находятся близко к месту сжигания, можно сделать предположение, что слабощелочная реакция почвы возникает в результате подщелачивания золой.

Ко второму классу относятся точки, расположенные на различных участках леса (П5, Г2, Г3, Г4). Значения рН второго класса принадлежат диапазону, характерному для слабокислых почв (4,84-5,62).

К 3 классу были причислены точки, расположенные на лугах (Л1, Л2, К1, К2), на участке леса, находящегося на стадии восстановления после лесного пожара (Г1) и проба почвы теплиц.

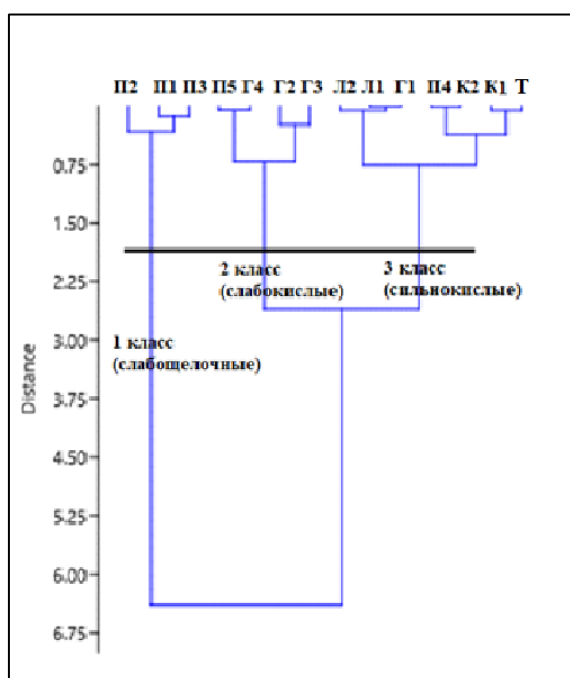


Рисунок 10 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (рН водной вытяжки)

РН солевой вытяжки

Разбиение, полученное в результате построения дендрограммы для потенциальной кислотности, схоже с дендрограммой актуальной кислотности, однако было отмечено несколько отличий. Так точки Г1, К1 и К2 в данном случае относятся к 3 классу (сильнокислые), тогда как при предыдущем разбиении они соответствовали 2 классу. Также стоит отметить, что при рассмотрении потенциальной кислотности, заметно смещение рН в кислую сторону, что объясняется наличием в почвенном поглотительном комплексе ионов алюминия и водорода.

Для потенциальной кислотности также было выделено 3 класса (рис. 11).

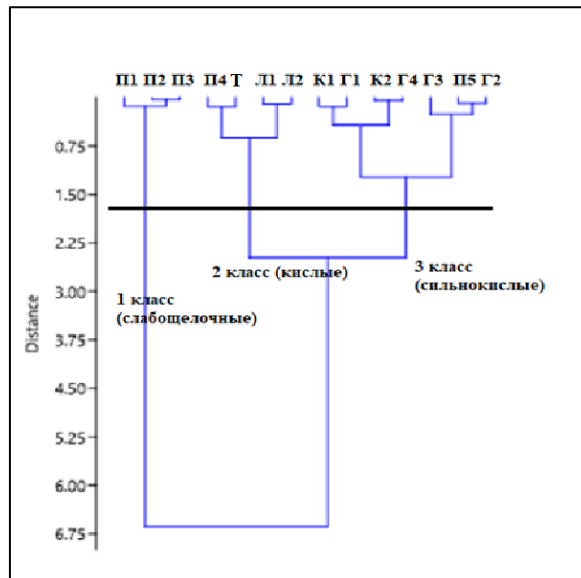


Рисунок 11 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидоваго расстояния (рН солевой вытяжки))

Органический углерод

По содержанию общего углерода, исследуемые точки разделены на 3 класса (рис.12)

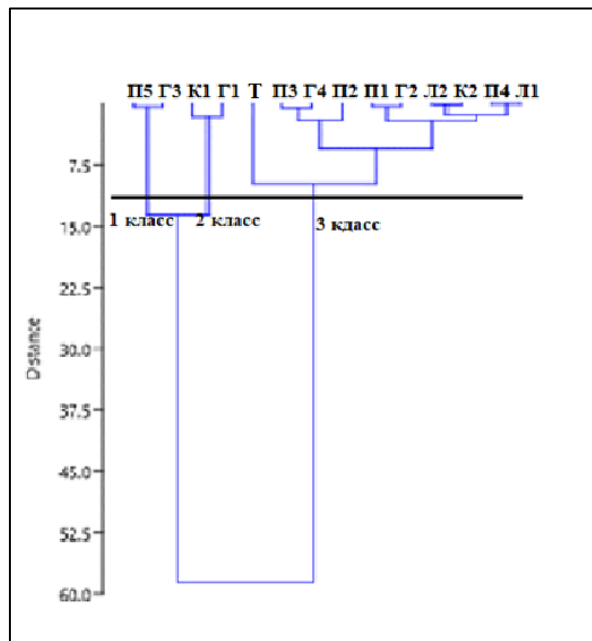


Рисунок 12 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидоваго расстояния (органический углерод)

К первому классу с максимальными значениями содержания общего углерода относятся точки П5 и Г3, эти точки расположены на оторфованных участках леса. Значения содержания углерода для второго класса также довольно

высоки, к данному классу отнесены точки К1 и Г1. Третий класс самый многочисленный, значения, соответствующие этому классу, находятся в диапазоне от 1,77 до 8,0% содержания органического углерода.

Почвенное дыхание

Для данного параметра выделено 3 класса (рис. 13).

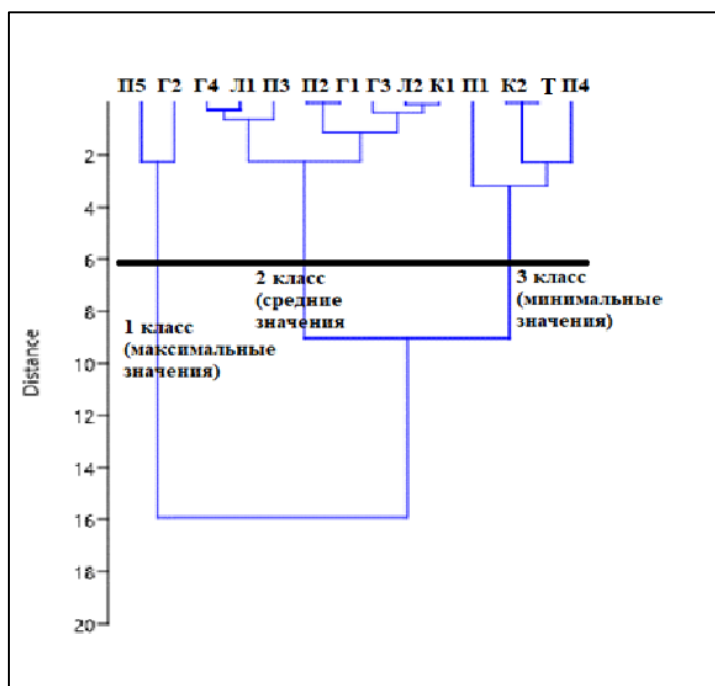


Рисунок 13 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (Дыхание)

Первому классу соответствуют точки с максимальными значениями параметра почвенного дыхания (П5 и Г2). Таким образом, максимальные значения эмиссии углекислого газа характерны для участков леса с схожими условиями почвообразования.

Второй класс содержит большую часть исследуемых участков, которым соответствуют средние значения данного показателя.

К 3 классу с минимальными значениями были отнесены точки полигона, одна точка луга, вышедшего из сельского хозяйственного использования, и проба грунта из теплицы (П1, К2, Т, П4).

Уреазная активность

Для оценки распределения уреазной активности выделено 4 класса (рисунок 14).

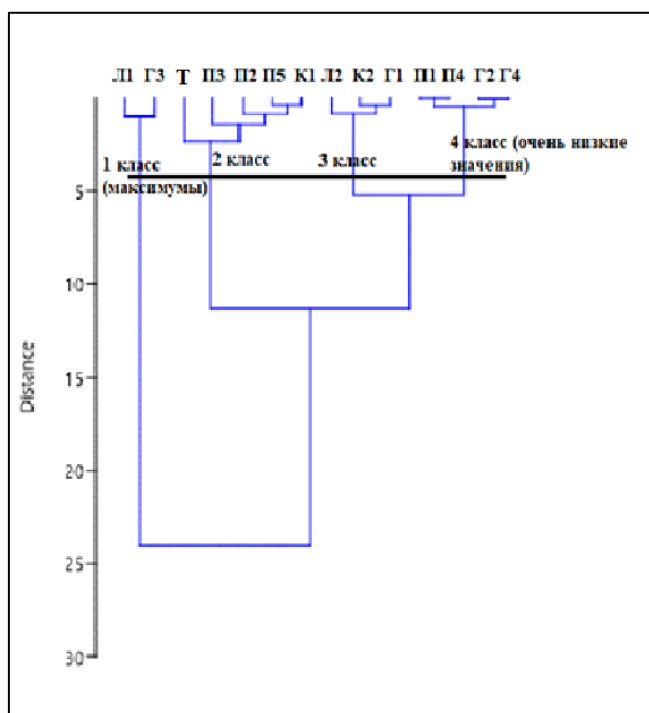


Рисунок 14 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидоваго расстояния (Уреаз)

В данном случае к первому классу с максимальными значениями были отнесены точки Л1 и Г3, расположенные на лугу, задействованном в сельском хозяйстве и на ненарушенном участке леса соответственно.

К 4 классу, которому соответствуют самые низкие (либо нулевые) значения уреазной активности, отнесены точки П1, П4, Г2 и Г4.

Каталазная активность

При оценке распределения каталазной активности выделено 3 класса (рисунок 15).

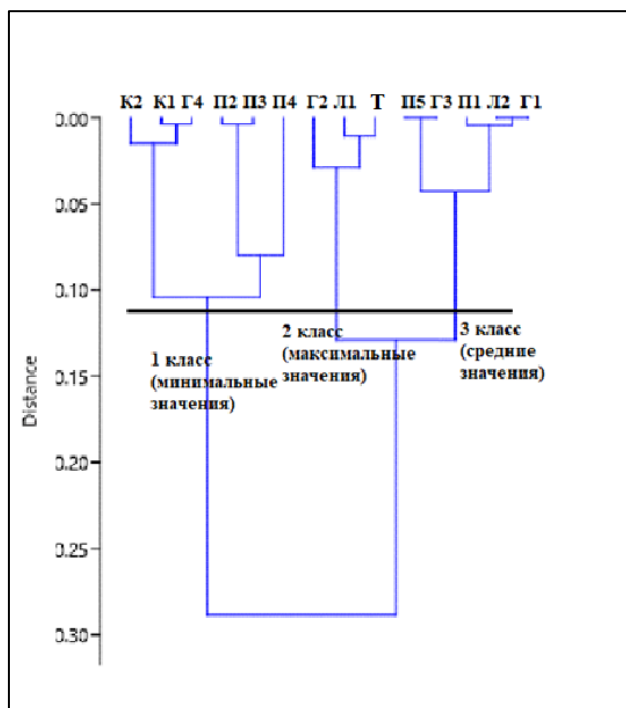


Рисунок 15 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (Каталаза)

Минимальные значения активности каталазы отмечены на точках, принадлежащих 1 классу (К1, К2, Г4, П2, П3, П4). Таким образом, к классу с минимальными значениями были отнесены три из четырех точек, расположенных на территории полигона ТКО, точки, заложенные на поле, выбывшем из сельскохозяйственного использования, и точка леса, находящегося на стадии восстановления после лесного пожара.

Максимумы наблюдаются в точках второго класса (Г2, Л1, Т). Указанные точки имеют различные режимы природопользования. Так, Л1 расположена на сельскохозяйственном лугу, Т отобрана в тепличном грунте, Г2 заложена на участке леса.

Целлюлозолитическая активность

По целлюлозоразрушающей способности, исследуемые точки разделены на 4 класса (рисунок 16).

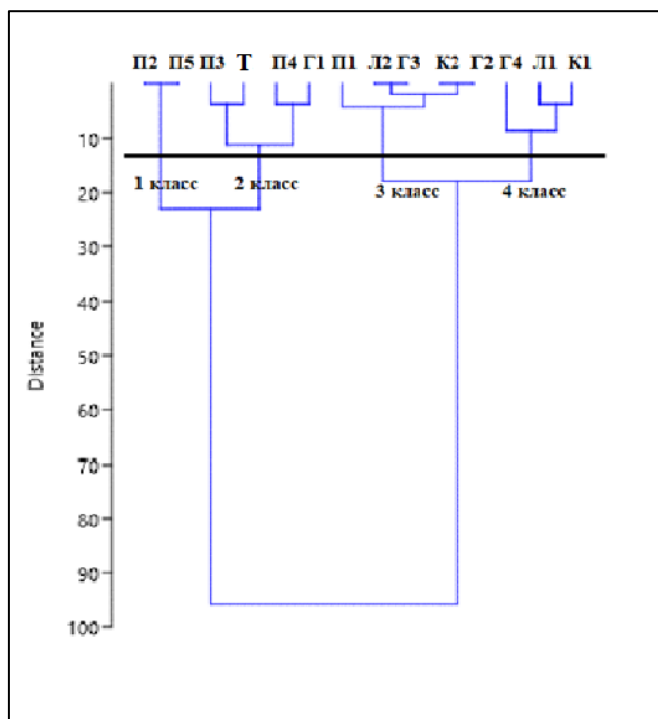


Рисунок 16 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (Целлюлозолитическая активность)

Как видно из дендрограммы на рисунке 16, к первому классу были отнесены точки (П2, П5), расположенные на территории и вблизи полигона ТКО, им соответствуют значения 45%, что является весьма высоким показателем целлюлозолитической активности.

Во второй класс попали точки П3, И, П4, Г1, в этих точках значения рассматриваемого параметра максимальны и достигают 70%.

Третий класс отличается минимальной целлюлозолитической активностью, в него вошли точки, расположенные на лугах, точка ненарушенного леса и точка полигона ТКО. Среднее значение целлюлозолитической активности в данном классе составляет 3,2%

Точки Г4, Л1 и К1 были отнесены к 4 классу, со средними значениями 14,3%.

Интегральный показатель эколого-биологического состояния почв

Аналогично приведенным выше разбиениям, была получена дендрограмма для значений интегрального показателя эколого-биологического состояния почв (рисунок 17). Результаты данного разбиения нанесены на карту (рисунок 18): ромбами отмечены точки, соответствующие 1 классу; кружками – 2 классу; квадратами – 3 классу.

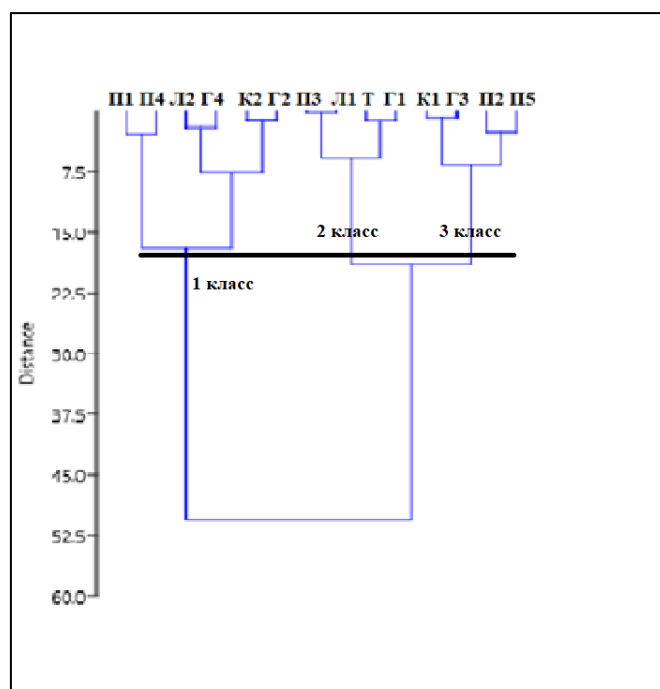


Рисунок 17 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (ИПЭБСП)

Первый класс включает шесть точек (П1, П4, Л2, Г2, Г4, К2), которым соответствуют наименьшие значения ИПЭБСП. Указанные точки расположены на территориях с различным режимом природопользования. Среднее значение данного параметра для первого класса составило 40,5%.

Участки П3, Л1, Т, Г1 были отнесены ко второму классу, со средним значением – 58,3%. Таким образом, данные точки имеют среднее эколого-биологическое состояние.

Наибольшие значения ИПЭБСП соответствуют третьему классу (К1, Г3, П2, П5). Среднее значение данного класса составляет 70,1%.

При анализе данного разбиения сложно выделить закономерности пространственного распределения значений используемого индекса. Вероятно, интегральный показатель эколого-биологического состояния почв применим для почв с схожими условиями почвообразования и антропогенного воздействия.

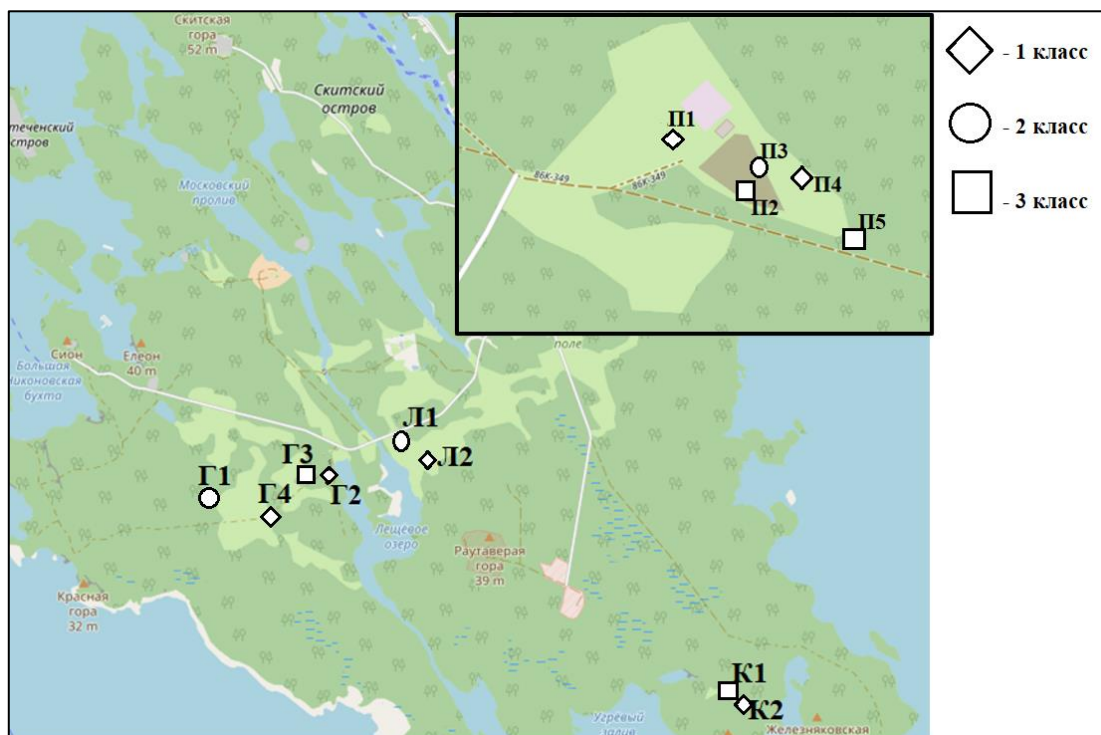


Рисунок 18 – Результаты разбиения исследуемых почв на три класса (ИПЭБСП)

4.2 Кластерный анализ общего распределения исследуемых параметров

При объединении исследуемых почв в классы по характеру распределения всех параметров была проведена стандартизация полученных результатов. Далее был использован кластерный анализ методом Уорда с метрикой Евклидова расстояния.

В результате разбиения были получены 3 класса (рисунок19). Первый класс составляют все точки, расположенные на территории полигона ТКО (П1-П4), что можно объяснить схожим характером антропогенного воздействия и высоким уровнем концентрации загрязняющих веществ в почве.

В состав второго класса вошли точки Г1, Г3, К1 и П5. Указанные точки были заложены на различных участках леса (Г1, Г3, П5) и на выбывшем из сельскохозяйственного использования (К1). Данным почвам характерно наличие мощного органогенного горизонта в почвенном профиле, а также высокие значения влажности.

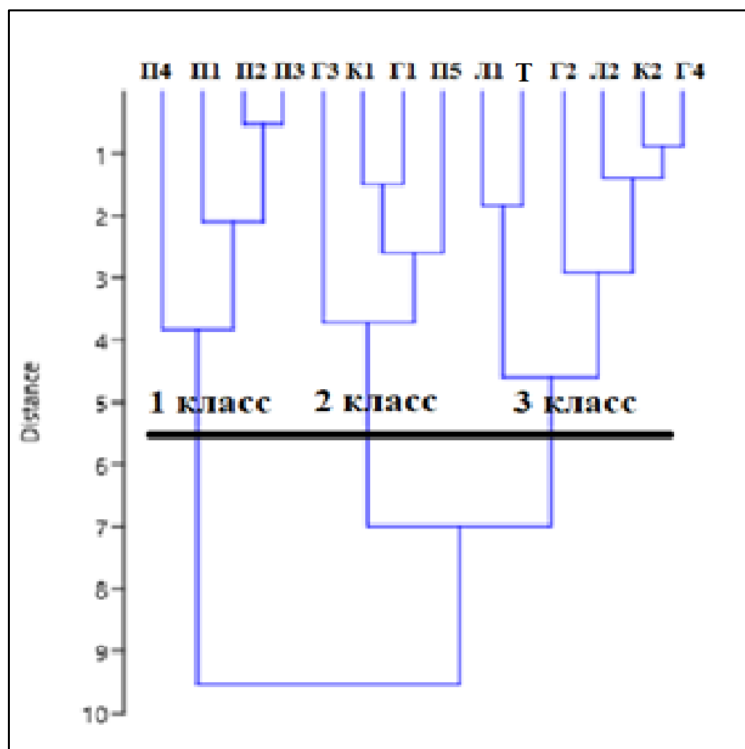


Рисунок 19 – Дендрограмма с использованием иерархического метода Уорда с метрикой Евклидова расстояния (Биологическая активность)

Участки Л1, Т, Г2, Л2, К2 и Г4 входят в состав третьего класса. Для всех указанных почв характерен невысокий уровень влажности. Интересно отметить, что к данному классу были отнесены три участка, используемых в сельском хозяйстве в настоящее время и в прошлом (Л1, Л2, К2).

Полученное разбиение было нанесено на карту острова Валаам (Рисунок 20). На данной карте квадратами отмечены точки, соответствующие первому классу; кружками – второму классу; треугольниками – третьему классу.

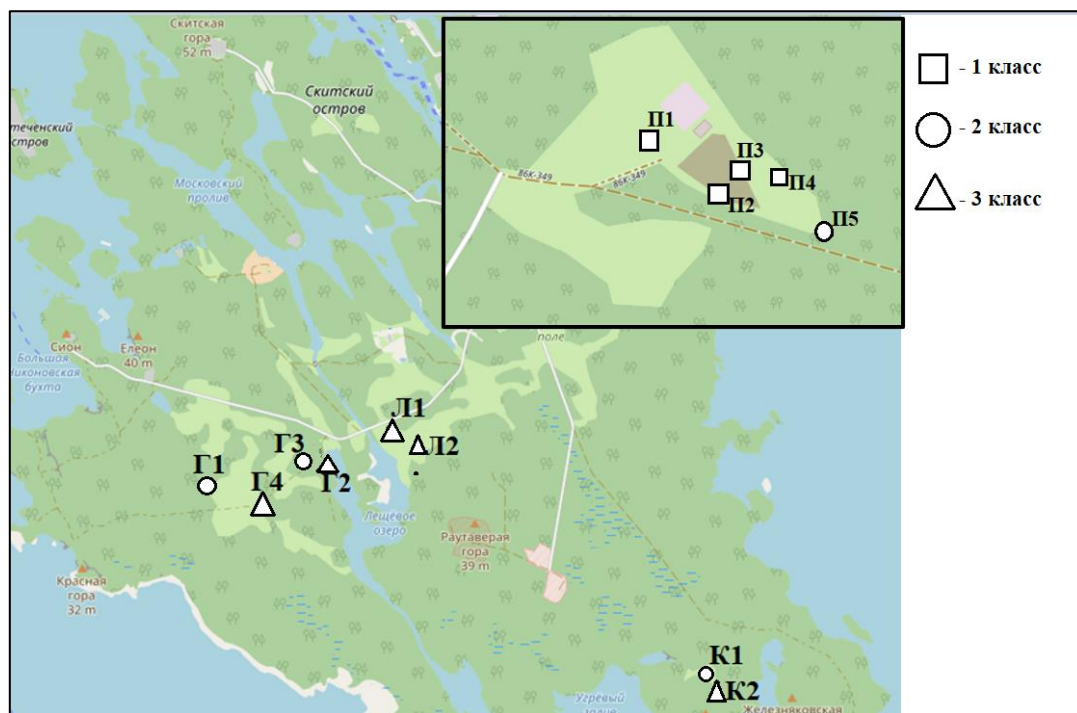


Рисунок 20 – Результаты разбиения исследуемых почв на три класса
(Биологическая активность)

Несмотря на то, что при рассмотрении полученной дендрограммы можно отметить ряд закономерностей пространственного распределения биологической активности, данное разбиение статистически не обосновано. Так, при использовании критерия Стьюдента для оценки оптимальности разбиения подтверждается гипотеза о равенстве средних значений классов ($T^* < T_{кр}$). Можно предположить, что не удовлетворение T-критерия связано с малой длиной выборки (14 переменных).

5.3 Корреляционный анализ результатов

Для оценки зависимости распределения значений исследуемых параметров была построена матрица корреляций. Результаты корреляционного расчета представлены в Таблице 9.

При оценке силы связи коэффициентов корреляции используется шкала Чеддока, приведенная в Таблице 10

Таблица 9 – Матрица корреляций всех исследуемых параметров почвы

	рН вод	рН сол	Собщ	Дыхание	Уреаза	Целл-ая активность	Каталаза
рН вод	1						
рН сол	0,98	1					
Собщ	-0,37	-0,47	1				
Дыхание	-0,31	-0,29	0,50	1			
Уреаза	-0,15	-0,12	0,40	0,07	1		
Целл-ая активность	0,20	0,14	0,17	-0,12	-0,09	1	
Каталаза	-0,39	-0,29	0,18	0,47	0,38	-0,30	1

Таблица 10 – Шкала Чеддока

Значение	Интерпретация
от 0 до 0,3	очень слабая
от 0,3 до 0,5	слабая
от 0,5 до 0,7	средняя
от 0,7 до 0,9	высокая
от 0,9 до 1	очень высокая

При рассмотрении результатов корреляционного анализа установлено, что все исследуемые параметры имеют между собой достаточно слабую корреляцию. Наибольшая связь наблюдается между интенсивностью почвенного дыхания и содержанием органического углерода (коэффициент корреляции –

0,50). В ряде исследований почв различных регионов мира, также отмечается тесная связь содержания органического углерода с эмиссией углекислого газа.

Средние значения коэффициента корреляции установлены между актуальной кислотностью, содержанием органического углерода, почвенным дыханием и каталазной активностью.

Каталазная активность имеет среднюю корреляцию с четырьмя параметрами (актуальная реакция среды, дыхание, активность уреазы и каталазы. Интересно отметить, что между активностью каталазы и целлюлазы наблюдается обратная корреляция. Вероятно, это обусловлено тем, что активность данных ферментов зависит от развития различных групп почвенных микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходимы разные характеристики условий среды.

Можно предположить, что низкие значения корреляции между исследуемыми параметрами, полученные в данном исследовании, обуславливаются недостаточной длиной ряда данных.

Заключение

Для оценки биологической активности исследователи обычно учитывают интенсивность основных биологических и биохимических процессов в почве. Так как оценка параметров, отражающих активность всех биологических и биохимических процессов (термогенез, количество АТФ) отличается высокой трудоёмкостью и сложностью проведения анализа, на практике принято использовать показатели, определяющие наиболее распространенные процессы (почвенное дыхание, накопление аминокислот, активность ферментов и др).

Биологическую активность почв подразделяют на актуальную и потенциальную, которым соответствуют различные методы и параметры определения. Оценка потенциальной активности осуществляется в искусственно созданных условиях. Значения параметров потенциальной биологической активности можно применять в качестве диагностического показателя потенциальной продуктивности и плодородия почвы, а также в качестве индикатора загрязнения различными ксенобиотиками.

Определение актуальной биологической активности проводится в естественных (полевых) условиях. К методам оценки потенциальной активности можно отнести: оценку эмиссии углекислого газа и различные аппликационные методы.

Так в данной работе для оценки биологической активности исследуемых почв применялись следующие параметры:

1. эмиссия углекислого газа, т.е. «дыхание», характеризует общую биологическую активность почв;
2. целлюлозоразрушающая способность, что позволяет определить активность микроорганизмов, участвующих в процессах деструкции целлюлозы;
3. активность уреазы, данный фермент определяет важные этапы превращения азотсодержащих веществ в почве;
4. активность каталазы данный фермент, отвечает за процесс разложения перекиси водорода;

5. водородный показатель, реакция среды почвенного раствора оказывает большое влияние на развитие микроорганизмов;

6. содержание органического вещества, позволяет оценить содержание гумуса в почве, который образуется за счёт жизнедеятельности микроорганизмов.

Для большинства исследуемых образцов характерна сильноокислая и кислая реакция среды, исключение составляют участки, расположенные на полигоне ТКО в зонах непосредственного обращения с отходами (П1-П3). Значения актуальной и потенциальной кислотности для данных площадок находятся в диапазонах $pH_{вод}$ 8,29 – 8,75 и $pH_{сол}$ 7,84 – 8,02 соответственно. Можно сделать предположение о том, что слабощелочная реакция среды данных участков возникает вследствие подщелачивания почвы продуктами распада строительных материалов и других отходов.

Наименьшая величина потенциальной и актуальной кислотности зафиксирована на участке леса Г3 ($pH_{вод}$ 3,62; $pH_{сол}$ 2,74), такие низкие значения величины водородного показателя характерны для торфяных почв.

В большинстве исследуемых образцов отмечено высокое содержание органического углерода. Значения данного показателя варьируют от 1,81 до 26,93%. Максимальные значения содержания органического углерода отмечены на участках П5, К1, Г1, Г3. Все эти участки расположены на переувлажненных территориях с мощными торфяными горизонтами. Наименьшие значения данного параметра зафиксированы на точках П4 (1,81%) и Л1 (1,81%). Низкое содержание органического углерода на участке «П4» может обуславливаться снижением интенсивности биохимических реакций вследствие загрязнённости территории ТКО. Точки «Л1» и «Л2» расположены на разных участках Лещевого луга. Можно предположить, что более низкое содержание органического углерода на «Л1» (заложеной близко к дороге) обуславливается воздействием на почву загрязняющих веществ от автотранспорта, а также более интенсивным выпасом скота в данной части луга.

Также для оценки биологической активности в данном исследовании определялась ферментативная активность отобранных образцов почвы.

Максимальные значения уреазной активности были получены для участков Л1 (19,78 мг N-NH₄ на 10 г почвы за сутки) и Г3 (21,16 мг N-NH₄ на 10 г почвы за сутки). Нулевые значения данного параметра соответствуют двум участкам, расположенным на полигоне ТКО.

Большая часть отобранных почвенных образцов характеризуется слабой и средней целлюлозолитической активностью. «Сильная» целлюлозолитическая активность отмечена на участках П3(55%), П4(65%), Т(60%) и Г1(70%). П3 и П4 находятся на территории полигона ТКО, где почвы особо подвержены антропогенной нагрузке.

В некоторых исследованиях отмечается увеличение уровня целлюлозолитической активности в условиях повышенного содержания тяжелых металлов в почве (превышающих фоновые значения). Таким образом, есть основания для предположения о том, что данная территория подвержена загрязнению тяжелыми металлами.

Нулевое значение целлюлозолитической активности зафиксировано на участке П1. Данный участок расположен в предположительно наиболее загрязненной части полигона ТКО, в зоне постоянной работы грузового автотранспорта и места сжигания отходов.

Вариативность значений активности каталазы среди исследуемых участков ниже, чем для других параметров ферментативной активности. Все полученные значения находятся в диапазоне от 0,09 до 0,39 см³ 0,1 М KMnO₄ на 1 г. почвы за 20 мин. Резкое снижение активности каталазы на участке полигона ТКО – П4, может объясняться высоким уровнем загрязнённости данной почвы.

Также интересно отметить различие активности каталазы на участках Л1 и Л2 (0,35 и 0,26 см³ 0,1 М KMnO₄ на 1 г. почвы за 20 мин соответственно), расположенных на лугу используемом в сельском хозяйстве. Большее значение активности данного фермента на Л1 может быть обусловлено близостью

автодороги и как следствие поступлением в почву различных загрязнителей, в том числе нефтепродуктов.

Значения характеристики почвенного дыхания находятся в диапазоне от 3,3 до 20,6, мг CO₂/10 г почвы. Максимальные значения данного показателя отмечены на точках П5 (20,6, мг CO₂/10 г почвы) и Г2 (17,4, мг CO₂/10 г почвы), заложенных на участках елового леса. Наименьшее значение интенсивности эмиссии углекислого газа соответствует участку полигона ТКО – П4 и составляет 3,3, мг CO₂/10 г почвы, что может свидетельствовать о снижении микробиологической активности вследствие высокого уровня загрязнения данной почвы.

Для интегральной оценки биологической активности почв был рассчитан интегральный показатель эколого-биологического состояния почв (ИПЭБСП). Все полученные значения ИПЭБСП находятся в диапазоне от 29,93 до 75,03%.

Максимальная оценка индекса эколого-биологического состояния почв отмечена на участке П5 и составляет 75,03%. Данная точка расположена на участке леса вблизи границы полигона ТКО. Здесь отмечается мощный торфяной горизонт, высокое содержание органического углерода и слабокислая реакция среды. Таким образом, высокая биологическая активность на данном участке вероятно обусловлена, как благоприятными почвенными условиями и доступностью питательных элементов, так и небольшими концентрациями загрязняющих веществ, поступающими с территории полигона ТКО при сжигании отходов.

Минимальные значения интегральной биологической активности также отмечены на двух участках полигона – П1 и П4 (33,90 и 29,93% соответственно). Вероятно, уровень загрязнения данных точек превышает уровень необходимый для поддержания нормальной жизнедеятельности почвенной микробиоты.

Для оценки характера пространственного распределения исследуемых параметров использовали кластерный анализ по методу Уорда с метрикой Евклида.

Были получены дендрограммы распределения каждого исследуемого параметра. Расчет проводился в программах Past4 и Excel. Для всех полученных классификаций проведено сравнение средних значения по критерию Стьюдента. В результате, все значения $t^* > t_{кр}$ по модулю, следовательно, классы не требуют объединения.

При попытке проведения совместного кластерного анализа биологической активности, с учетом изменчивости всех значений показателей каждой рассматриваемой почвы, было выделено 3 класса. Так к первому классу были отнесены все точки, расположенные в границах полигона ТКО. Второй класс составили почвы, расположенные на переувлажненных территориях с мощными органомными горизонтами. К 3 классу были отнесены почвы различного режима природопользования, которым не характерно переувлажнение.

Несмотря на то, что при рассмотрении полученной классификации можно отметить ряд закономерностей пространственного распределения биологической активности, данное разбиение статистически не обосновано. Так, при использовании критерия Стьюдента для оценки оптимальности разбиения подтверждается гипотеза о равенстве средних значений классов ($T^* < T_{кр}$). Можно предположить, что не удовлетворение T-критерия связано с малой длиной выборки.

Для оценки зависимости распределения значений исследуемых параметров была построена матрица корреляций. При анализе корреляционного анализа установлено, что все исследуемые параметры имеют между собой достаточно слабую корреляцию. Наибольшая связь наблюдается между интенсивностью почвенного дыхания и содержанием органического углерода (коэффициент корреляции – 0,50). Низкий уровень корреляции среди параметров может также обуславливаться недостаточной длиной выборки.

Список использованных источников

1. Вальков, В.Ф. Почвоведение: учебник для вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – М.: ИКЦ «Март», 2004. – 496 с. - ISBN: 5-241-00405-X
2. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: Изд. МГУ, 1977. - 256 с.
3. Казеев К.Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. - Ростов-на-Дону. – Издательство Южного федерального университета, 2012. - 260 с.
4. Безкоровайная, И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв:– Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2001. – С. 12- 17.
5. Казеев К.Ш. Биология почв Юга России / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
6. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев; Ин-т биологии Уфим. НЦ. - М.: Наука. 2005. - 252 с.
7. Killham K., Staddon W.J. Bioindicators and sensors of soil health and the application of geostatistics // *Enzymes in the Environment*. N.Y.: Marcel Dekker Inc., 2002. P. 391–405.
8. Ананьева, Н. Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям / автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук. Институт физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. – М., 2001. – 36 с.
9. Decaens T., Jimenez J.J., Gioia C. et al. 2006. The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of soil biology*. V 42. P. 523-538.
10. FAO SOILS PORTAL/ Soil biodiversity[Электронный ресурс] // URL: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/en/> (дата обращения 15.03.2022)
11. Assessment of soil biodiversity policy instruments in EU-27. Draft final report. 2009. European Commission DG ENV. Bio Intelligence Service. 232 pp.

12. Chapter 4 Biodiversity. Europe's environment - The fourth assessment. 2010 P. 176 – 206/
13. Coleman D.C., Crossley D.A. 1996. Fundamentals of soil ecology.
14. Lavelle P., Bignell D., Lepage M. et al. 1997a. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. European Journal of soil biology. V. 33. P. 159-193.
15. Lavelle, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. 1996 Biol. Intern. 33, 3-16.
16. Bloem J., Schouten T., Didden W., Jagers op Akkerhuis G., Keidel H., Rutgers M., Breure T. 2003. Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In: OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators. Rome. Italy.
17. Yeates G.W. 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. Biol. Fertil. Soils. V 37. P. 199-210.
18. De Deyn G.B., Raaijmakers C.E., Zoomer H.R., Berg M.P., de Ruiter P.C., Verhoef H.A., Bezemer T.M., van der Putten W.H. 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. Nature. 422. P. 711-713.
19. Бабьева, И.П. Биология почв: учебник / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – 2е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
20. Мосина Л. В., Довлетярова Э. А., Ефремова С. Ю., Норвосурэн Ж. – Экологическая опасность загрязнения почвы тяжелыми металлами (на примере свинца) // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2012. № 29. С. 383–386.
21. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Т. 20. №2 (78). – С. 14-24.
22. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.:Наука, 1982. – 204 с.

23. Рыкова А.И. Активность оксиредуктаз городских почв // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «XII Зырянские чтения». Курган. – 2014. – С. 231-234.
24. Иванов, А.В. Гигиеническая оценка загрязнения почв на территории нефтедобывающих регионов Республики Татарстан / А.В. Иванов, А.А. Тафеева // Гигиена и санитария. – 2009. – № 3. – С. 41-44.
25. Саулебекова, А.К. Экологическое состояние нефтезагрязненных почв различных месторождений Атырауской области: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Саулебекова Айман. – Алматы, 2007. – 21 с.
26. Щемелинина, Т.Н. Биологическая активность нефтезагрязненных почв крайнего севера на разных стадиях их восстановления и при рекультивации: автореф. дисс. ...канд. биол. наук: 03.00.27, 03.00.16. – Воронеж, 2008. – 22 с.
27. Смольникова, В. В. Особенности воздействия углеводородов нефти на санитарное состояние почвенных экосистем / В. В. Смольникова, Т. И. Винник. // Молодой ученый. — 2015. — № 6 (86). — С. 331-333. — URL: <https://moluch.ru/archive/86/16186/> (дата обращения: 03.04.2022).
28. М.В. Щелчкова, Л.К. Стручкова, И.А. Федоров. Комплексное влияние тяжелых металлов на ферментативную активность и эффективное плодородие мерзлотной лугово-черноземной почвы// ВЕСТНИК СВФУ, 2010, том 7, № 4 С. 16-21.
29. Walerij Petlin, 2003 General principles of the environmental monitoring organization / Krajobraz a czlowiek w czasie i przestrzeni, Prace Komisji Krajobrazu Kultrowego Nr 20 P. 17-25
30. Иваненко, Н.В. Экологический мониторинг: практикум / Н.В. Иваненко, С.Б. Ярусова ; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2018. – 96 с
31. Шильцова Г. В., Морозова Р. М., Литинский П. Ю. Тяжелые металлы и сера в почвах Валаамского архипелага. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008.

32. Ронконен Н. И., Кравченко А. В. Флористические особенности Валаама // Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. Петрозаводск, 1983. С. 33–59.
33. Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. А.Б. Степановой. – СПб.:РГГМУ, 2016. С. 4–5.
34. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
35. Смольникова, В. В. Особенности воздействия углеводородов нефти на санитарное состояние почвенных экосистем / В. В. Смольникова, Т. И. Винник. // Молодой ученый. — 2015. — № 6 (86). — С. 331-333. — URL: <https://moluch.ru/archive/86/16186/> (дата обращения: 20.03.2022).
36. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
37. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
38. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
39. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.
40. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
41. Практикум по агрохимии: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб и доп./ Под ред. Академика РАСХН В.Г.Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 217-220
42. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. - М.: Наука, 1978. - С. 42-47.

Приложение А



Рисунок А.1 – Отбор образца почвы на участке П1



Рисунок А.2 – Участок П2



Рисунок А.3 – Бочки от нефтепродуктов на участке П3



Рисунок А.4 – Участок П4

Таблица Б.1 – Расчет интегрального показателя эколого-биологического состояния почв

Точка	Гумус, % (Б1)	Дыхание почвы, % (Б2)	Уреаза, % (Б3)	Целлюлаза, % (Б4)	Каталаза, % (Б5)	Бср, %	Бсрмакс, %	ИПЭБСП, %
П1	10,47	37,38	0,00	0,00	68,83	23,34	68,83	33,90
П2	19,32	57,77	38,62	64,29	49,35	45,87	64,29	71,35
П3	15,11	46,12	29,48	78,57	48,05	43,47	78,57	55,32
П4	6,70	16,02	0,00	92,86	23,38	27,79	92,86	29,93
П5	100,00	100,00	32,94	64,29	77,92	75,03	100,00	75,03
Л1	6,70	48,54	93,46	21,43	89,61	51,95	93,46	55,59
Л2	9,30	52,43	22,37	7,14	67,53	31,75	67,53	47,02
К1	72,61	51,94	35,41	28,57	53,25	48,36	72,61	66,59
К2	9,56	29,61	19,41	4,29	57,14	24,00	57,14	42,00
Т	29,72	29,61	43,95	85,71	93,51	56,50	93,51	60,42
Г1	67,95	57,77	16,79	100,00	67,53	62,01	100,00	62,01
Г2	11,53	84,47	2,10	4,29	100,00	40,48	100,00	40,48
Г3	98,86	54,37	100,00	7,14	77,92	67,66	100,00	67,66
Г4	13,58	50,49	2,32	11,43	51,95	25,95	51,95	49,96