



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮрГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

**Комплексная биоиндикационная оценка парковой растительности  
города Челябинск на примере Парка культуры и отдыха  
имени Гагарина и Никольской рощи**

**Выпускная квалификационная работа по направлению  
05.03.06 Экология и природопользование**

**Направленность программы бакалавриата**

**«Природопользование»**

**Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:  
80,53 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

«06» июня 2022 г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и  
методики обучения химии  
(название кафедры)

Сутягин Сутягин А.А.

Выполнил:

Студент группы ОФ-401/058-4-1  
Сычев-Важенин Андрей Евгеньевич

Научный руководитель:  
проф., д-р биол. наук

Назаренко Назар Николаевич

**Челябинск  
2022**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ .....	5
1.1 Изучение растительности методом пробных площадей.....	5
1.2 Фитоиндикация биотопов и оценка растительного покрова.....	8
1.3 Методы многомерной статистики в изучении растительности...	17
1.4 Экологическое картографирование как метод пространственного отображения фитоиндикации.....	24
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦПКИО И НИКОЛЬСКОЙ РОЩИ. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	28
2.1 Характеристика ЦПКиО и методика исследования.....	28
2.2 Характеристика парка Никольская роща и методика исследования.....	32
ГЛАВА 3. БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСК.....	36
3.1 Эколого-ценотическая структура растительности ЦПКиО.....	36
3.2 Анализ экоморф парка Никольская Роща.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	56

## ВВЕДЕНИЕ

Парковая растительность формируется в виде групп деревьев, лесных массивов и рощ, кустарников, полян и декоративных цветников разного вида.

Основу организации парковой среды составляют насаждения: кустарники, деревья и травянистые растения. Они тесно связаны с другими элементами ландшафта – водой и рельефом и с учетом климата определяют характерный вид и пространственную структуру каждого объекта. В основу пейзажных парков входит композиция, которая выстраивается на ассиметричном равновесии для воссоздания образа естественной природы – это аллеи, массивы, солитеры.

Обычно в достаточно старых парках вместе с искусственными элементами в экосистемы проникают естественные виды, формируя необычные типы парковой растительности, требующие тщательного изучения.

Парковые экосистемы выполняют важнейшую рекреационную и другие экологические функции в городских экосистемах, поддерживая экологическую стабильность городских экосистем и чистоту воздуха. В связи с этим, очень важным является вопрос устойчивости парковых экосистем, которые напрямую зависят от фиторазнообразия и от биотопов, формирующихся в результате развития парков во времени.

Актуальность работы заключается в том, что оценка биоразнообразия парковой растительности в парке культуры и отдыха имени Гагарина и Никольской рощи с использованием современных методов анализа биотопов на основе фитоиндикации и многомерной статистики была проведена впервые. Также впервые созданы карты экологических режимов ведущих экологических факторов, позволяющих создавать и поддерживать устойчивые парковые насаждения.

**Целью** исследования была комплексная эколого-ценотическая оценка насаждений Центрального парка культуры и отдыха (ЦПКиО) города Челябинска и анализ экоморф парка Никольская роща г. Челябинска.

**Задачи** данной работы являются:

1. Проведение геоботанических обследований территории ЦПКиО и Никольской рощи.
2. Комплексная оценка фиторазнообразия и биотопов ЦПКиО и Никольской рощи.
3. Фитоиндикация и экологическая паспортизация биотопов и флоры ЦПКиО и Никольской рощи.

**Объект исследования** – экосистемы ЦПКиО и Никольской рощи.

**Предмет исследования** – растительность и биотопы ЦПКиО и Никольской рощи г. Челябинска.

# ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

## 1.1 Изучение растительности методом пробных площадей

Описание фитоценозов проводят на пробных площадях, размеры которых неодинаковы для различных сообществ. При исследовании лесов принято закладывать пробные площади размером 400 м<sup>2</sup> (20 × 20 м), а травянистой растительности (луговых и болотных сообществ) – 100 м<sup>2</sup> (10 × 10 м). Пробные площади следует разбивать в наиболее типичных однородных местах в пределах характеризуемого фитоценоза.

Описание фитоценоза ведётся в определённой последовательности на специальных бланках геоботанического описания.

Название ассоциации даётся по доминирующим видам. Доминантами называют виды, преобладающие в фитоценозе. Для лесных ассоциаций – по доминантам каждого яруса, начиная с древесного. Если в ярусе имеется несколько доминантов, то при наименовании ассоциации (наиболее часто) они соединяются знаком «+» и преобладающий из них ставится на первое место. Доминанты разных ярусов – знаком «-». Например, асс. Сосна обыкновенная – Орляк обыкновенный. Такой способ применим и для полидоминантных ассоциаций лугов.

Характеризуя почву, необходимо указывать ее тип (серая лесная, подзолистая и др.); гранулометрический состав (песчаная, супесчаная, слабо-, средне-, тяжелосуглинистая, глинистая); степень увлажнения (сухая, влажноватая, влажная, сырая, мокрая).

Описание ярусов. Ярусы – самые крупные структурные части вертикального строения фитоценоза. Каждый ярус занимает определённую экологическую нишу. Благодаря ярусности большое количество видов растений наиболее полно используют среду обитания. В древесных насаждениях первый ярус образуют главная и второстепенные древесные породы древостоя, второй ярус – подлесок – образуют кустарники и

древесные породы, по различным причинам не способные достигнуть высоты древостоя, третий ярус – живой напочвенный покров (травянистые растения, полукустарнички, мхи, грибы, покрывающие почву под пологом леса). Ярус – понятие не только морфологическое, но и экологическое, и фитоценотическое. Согласно такому пониманию яруса один и тот же вид не может входить в разные ярусы. Если в лесу деревья одного вида имеют разную высоту из-за молодости или угнетённости, то их выделяют в разные пологи. Для травянистых растений высота ярусов определяется по максимальной высоте входящих в него растений. Когда ярусы выделить сложно, достаточно отметить верхний уровень той части травостоя, выше которой густота травостоя резко падает. Последнее особенно важно при хозяйственной оценке сенокосов и пастбищ [2].

Ярусы обозначаются римскими цифрами. Высота деревьев и кустарников даётся в метрах, травянистых растений и кустарничков – в сантиметрах.

Горизонтальную неоднородность фитоценоза отражает мозаичность. Элементами мозаичности являются микрогруппировки микрофитоценозов, характеризующие структурные единицы фитоценоза в пределах одного яруса.

При описании древостоев определяют роль каждой породы в лесном фитоценозе и выражают в виде формулы древостоя по десятибалльной шкале. Общее число стволов на пробной площади принимают за 10 баллов (что соответствует 100 %), участие каждой породы в смешанных насаждениях оценивают в долях от 10. Древесные породы обозначаются в формуле первыми буквами своего наименования (Е – ель, Д – дуб, Ол – ольха и т.д.). Коэффициенты, стоящие перед названием древесных пород, показывают относительное участие их в древостое. Например, формула 8С2Б означает, что древостой на 80 % образован сосной и на 20 % – березой.

Обилие. Для оценки ценотической роли вида в фитоценозе большое значение имеет определение его обилия, т.е. количества вида. Обилие вида может быть выражено числом особей каждого вида на единицу площади, массой органического вещества (биомассой). Обилие видов травянистых растений характеризует шкала, предложенная датским ученым О. Друде в интерпретации А. А. Уранова.

Более точно в растительном сообществе можно определить проективное покрытие, характеризующее величину проекции надземных частей растений, выраженное в процентах. Точность определения проективного покрытия должна быть не менее 5 %. Проективные покрытия для травянистых растений – это фактически тоже, что и сомкнутость крон для древесного и кустарникового ярусов. Проективные покрытия служат показателем борьбы растений за свет, а также за влагу, питательные вещества и пространства.

Сомкнутость крон – площадь, занятая проекциями крон деревьев без учета просветов внутри крон. Степень сомкнутости крон определяют глазомерно в десятых долях от единицы или в процентах. Так, степень сомкнутости крон равная 0,6 означает, что на долю проекции крон приходится 0,6, а на долю просветов 0,4 всей площади, при этом просветом считается пространство, в котором можно разместить еще одну или несколько крон деревьев.

Возобновление древостоя включает всходы и подрост. Всходы – одно-, двухлетние деревца высотой до 10 см, а более высокие, но не выше  $\frac{1}{4}$  или  $\frac{1}{2}$  высоты взрослых деревьев, – подрост. Изучение всходов и подростка позволяет определить степень обеспеченности естественного возобновления, устойчивости или возможной смены древесных пород [8].

Аспект (физиономическая характеристика) – это внешний вид (физиономичность) фитоценоза. Аспект сообщества неоднократно меняется на протяжении вегетативного периода и зависит от фенологического состояния доминирующих видов растений. Этот признак

выражается исключительно словесными описаниями преобладающего цвета. Названия аспектам даются по окраске аспекттивных видов. Например, аспект желтый, вызванный массовым цветением лютика едкого, или аспект зеленый в случае преобладания вегетирующих злаков.

Фенологическое состояние растений выражается в фенофазах.

В графе «общие замечания» желательно показать заключение об изучаемом фитоценозе, отметить его специфику, основные особенности видового состава и структуры. Так, для производных лесных ценозов важно указать, насколько велика степень нарушенности, в чем она проявляется, имеется ли тенденция к восстановлению коренных пород. При описании луговых фитоценозов следует отметить кормовые достоинства травостоя и влияние хозяйственной деятельности человека. Заканчивая характеристику болотных сообществ, обязательно надо подчеркнуть, к какому типу болота относится данный фитоценоз [3].

## 1.2 Фитоиндикация биотопов и оценка растительного покрова

К числу методов, используемых в фитоиндикации относят статистические методы, методы экологических групп и метод экологических шкал.

Методы фитоиндикации выполняются в полевых или лабораторных условиях. Основными являются: метод эталонов и метод экологических профилей.

### 1. Метод эталонов или эталонных участков

Для выявления в полевых условиях видов-индикаторов и растительных сообществ-индикаторов применяют метод эталонов или эталонных участков. Эталонный участок – это участок с естественной растительностью, являющийся образцом (эталонном) определенных условий и сопряженных с ними растительных сообществ [6].

Существуют два пути выбора эталонных участков. Первый путь выбора эталонных участков, это когда участок выбирается на месте, если



заранее известны условия, для которых надо установить растительные индикаторы. Это участки с хорошо изученным геологическим строением, типами почв, или участки буровых скважин, родников, колодцев и др.

Второй путь, когда участок выбирается по характеру растительности, т.е. выбирается участок какого-либо растительного сообщества и устанавливается индикационное значение. После описания растительности производится выявление индицируемых условий. Вторым путем необходимо для установления почв по характеру растительности, т.к. почвенный покров развит повсеместно, то остается установить, к каким типам, подтипам и разновидностям почв тяготеют растительные сообщества.

Размеры эталонных участков устанавливаются по естественным границам или описывают площадку стандартного размера. Площадки должны быть по возможности однородными в отношении внешних условий, а сообщество должно выглядеть гомогенным. Так же величина площади зависит от типа растительности: для травянистых сообществ – 25-100 м<sup>2</sup>, а для лесных – 400-2000 м<sup>2</sup>.

После того как эталонный участок выбран, указывают его местоположение и описывают растительное сообщество. Для лесных сообществ указывают их распределение по ярусам. Для каждого вида указывается степень обилия (проективного покрытия в процентах). Обычно используют шкалу Ж. Браун-Бланке или Л. Г. Раменского. Учитывают жизненность видов, характер произрастания и др. Таким образом, на участке осуществляется полное геоботаническое описание растительного сообщества. Более подробно методика геоботанических описаний дана в литературе по геоботанике и фитоценологии [6].

Метод эталонов позволяет установить наличие связей между индикаторами и определенным объектом индикации, но эти связи остаются изолированными, и не отражают внутриландшафтные связи.

## 2. Метод экологического профилирования

Метод экологического профилирования используют для выявления индикационных зависимостей в общей системе внутриландшафтных связей.

По определению Д. Д. Вышивкина, ключевой участок – это участок, характеризующий типичное, постоянно повторяющееся в данном районе сочетание нескольких растительных сообществ с типичными условиями рельефа, почв и других компонентов физико-географической среды [6].

Существует несколько способов определения ключевых участков. Наиболее эффективным способом является выделение ключевого участка путем дешифрирования аэрофотоснимков. Первым этапом, производится предварительное камеральное дешифрирование. Исследователь просматривает аэрофотоснимки с изображением территории, и обводит тушью границы всех видимых контуров, различающихся по характеру аэрофоторисунка. На этом этапе определяется количество типов аэрофоторисунков на территории будущих работ, при этом каждый тип аэрофоторисунка изображает собой определенное сообщество или комплекс сообществ.

Выбор ключевых участков производится с расчетом, чтобы типы были представлены в 3-5-кратной повторности. Обычно избирают несколько участков. Выбор ключевых участков по аэрофотоснимку обеспечивает их наибольшую типичность.

Второй способ выбора ключевых участков при помощи крупно- или среднемасштабных топографических карт, используя указанные на них типы территорий (лесные насаждения, кустарниковые заросли, луга, болота, солончаки и др.). В каждом из типов следует выбирать от пяти до десяти участков – длинных полос, пересекающих контуры, внутри которых они выбираются. Однако, выбор ключевых участков по топографическим картам очень неточен и его можно использовать только тогда, когда отсутствуют аэрофотоснимки.

На ключевых участках производятся геоботанические описания. Пробными площадями должен характеризоваться каждый фитоценоз, находящийся на ключевом участке. Возле пробной площади составляется почвенный разрез. Кроме пробных площадей описывается профиль, который прокладывается вкrest рельефу участка. Цель профиля – отразить распределение сообществ по рельефу.

Чтобы снизить число пропусков растительных сообществ и выявить экологические ряды фитоценозов изучаемая территория пересекается несколькими профилями. При работе участка растительных сообществ, которые были уже встречены на ключевых участках, описываются только в геоботаническом отношении, а те сообщества, которые ранее не встречались, описываются с той же степенью детальности, как и на ключевом участке (с почвенным разрезом или скважиной ручного бурения).

При профилировании особое внимание обращается на границы между сообществами, на присутствие между ними промежуточных переходных полос (эктонов). В конечном счете, на профиле отображаются рельеф (в определенном масштабе), растительность (обычно немасштабными значками), почвы и подстилающие их породы, первый от поверхности горизонт подземных вод (при неглубоком их залегании). Ниже линии профиля под отрезками, отвечающими определенным растительным сообществам, вычерчиваются после получения результатов почвенных и гидрохимических анализов диаграммы, отражающие свойства почв, горных пород и подземных вод [6].

Заключительным этапом является обработка всех результатов исследования. Геоботанические описания группируются по сообществам, а также группируются данные анализов почв, горных пород и подземных вод. Для каждого сообщества вычисляются характеристики значения как индикатора – достоверность, значимость в отношении к определенному индикату. Затем составляется сводная таблица (индикационная схема). В

ней растительные сообщества располагаются в определенном порядке. Против каждого сообщества в соответствующих графах указываются характеризующие показатели, и его итоговая оценка.

В 60 гг. XX в. в нашей стране фитоиндикация получила широкое распространение. По растительности оценивали эдафические условия, засоление, динамику природных процессов и т.д. Но оценка связи растительности и среды проводилась без статистических методов.

А. А. Ниценко раскрыл ошибочность такого подхода и четко показал, что для вывода об уровне связи растительности и среды нужна статистика, массовый материал, изучение вариаций среды в пределах сообществ одной ассоциации (одного типа фитоценоза) [10].

Для оценки достоверности индикатора, С. В. Викторов и др. предложил эвристический показатель. Более объективные результаты получают при использовании коэффициентов сопряженности индикаторов и объектов индикации.

С. Г. Розенберг разработал строгий подход к оценке среды по растительности с использованием распознавания образов с помощью ЭВМ. Распознавание образа ведется с помощью правила близости.

При использовании этого метода требуются сведения о факторах среды, полученные прямыми наблюдениями. Эти сведения о классах среды и задаются в виде классов обучения. В компьютер вводили несколько наборов геоботанических описаний, причем каждый набор соответствовал определенному классу условий среды. Например, вводились описания для почв (в условиях Башкирии) с засолением (т.е. с общим содержанием солей в процентах в почве) – 0,50–1,00%, 1,01–1,50% и т.д. Когда вводили новое описание, то компьютер сопоставлял с ранее введенными группами и определял, к какой группе оно наиболее близко.

Многочисленные проверки этого метода показали, что градаций среды по растительности можно распознать немного. В нашем примере, засоление почвы по растительности распознается в 4 градациях: 0–0,50%,

0,51–1,00%, 1,00–2,00% и выше 2%. Скелетность почвы (количество щебня в %) в условиях склоновых степей в Монголии распознавалось по растительности лишь в двух градациях – до 30% и выше этого порога. В дальнейшем независимо от того, было ли щебня 40–50%, растительность сохранялась примерно одинаковой.

В фитоиндикации используют количественные методы оценки индикаторности видов, позволяющие оценить индикаторную информированность каждого вида, отобрать наиболее информативные из них и оптимизировать оценку среды по растительности.

Каждый вид растения имеет свою экологическую амплитуду, в пределах которой могут существовать и оптимальные значения экологических факторов, в наибольшей мере соответствующие его биологическим особенностям.

В настоящее время разработаны количественные методы оценки тесноты связи видов с экологическими факторами.

Измерить тесноту связи или силу влияния фактора можно различными способами. Тесноту связи признака с фактором можно определить, как долю факториального варьирования от общего варьирования:

В настоящее время разработаны количественные методы оценки индицируемости градиентов, которые позволяют оценить, насколько индицируемый фактор среды значим для варьирования растительности. Обычно используются методы, опирающиеся на результаты прямой ординации оценки условий среды.

#### 1. Метод экологических групп

Провести индикацию местообитаний растительных сообществ можно с помощью экологических групп видов, которые более или менее четко определяют факторы местообитания. Понятие «экологическая группа» было предложено Е. Вармингом. Термин «экологическая группа» используется для обозначения группы видов по отношению к одному

ведущему фактору среды. Это экологические типы растений: мезофит, ксерофит, гигрофит и др. [6].

Экологическая группа объединяет виды, поведение которых в значительной мере однородно по отношению к комбинации факторов среды, или только к одному из них. В таком понимании термин был предложен Г. Элленбергом . и Г. Шленкером.

Для обозначения единиц эколого-ценотической классификации в литературе используют термины «свита» и «группа». Поскольку термин «свита» предполагает наличие представлений о флорогенетических связях, которые для многих видов флоры требуют специальных исследований, мы предлагаем для обозначения единиц эколого-ценотической классификации использовать нейтральный термин «группа».

В настоящее время используют понятие «эколого-фитоценотическая группа». Это понятие отличается от экологической группы тем, что виды группы, не только сходны по отношению к комплексным факторам среды, но и «верны» синтаксонам определенного ранга, т.е. определенным типам сообществ или экологически близким группам сообществ.

Под эколого-ценотическими группами (ЭЦГ) будем понимать группы видов растений, сходных по отношению к совокупности экологических факторов, присущих биотопам того или иного типа; характеризующихся высокой степенью взаимной сопряженности и приуроченных к микроместообитаниям определенного типа [1].

Существует три основных метода установления экологических и эколого-ценотических групп: корреляционный анализ межвидовых сопряженностей, прямой градиентный анализ и классификационный. При установлении экоценогрупп на основе классификационного метода учитывается положительная сопряженность между видами группы, при этом основным критерием сопряженности является встречаемость видов. Виды группы имеют встречаемость от 41 до 100%, т.е. не ниже III–V класса постоянства в соответствующих типах сообществ. Они не

отличаются от экологических групп, установленных на основе корреляционного анализа межвидовых сопряженностей [6].

Виды, входящие в состав экологической или эколого-фитоценотической группы, предъявляют сходные требования к комплексным градиентам, что позволяет получить достоверную информацию о местообитании сообщества и по ним проводить индикацию местообитаний. Поэтому их называют и индикаторными [6].

В качестве примера можно привести экологические группы лесной и луговой растительности, которые являются индикаторами различных почвенных факторов. Состав экологических групп лесной растительности дан по Скамони.

*Mercurialis* — группа на почвах с хорошо развитым гумусовым горизонтом с зернистой структурой, богатых карбонатами, рН слабощелочная до нейтральной. *Myrlillus* – группа, виды в основном на сильнокислых почвах с грубым гумусом. *Охусоссус* – группа на очень кислых торфяных почвах.

Эти группы дают информацию о свойствах биотопа, но не говорят о фитоценотической связи с определенными типами сообществ. Экоценотические группы дают информацию не только о синэкологическом оптимуме местообитания, но и указывают на связь с определенными типами сообществ. Например, *Galium verum* – группа с синэкологическим оптимумом на остепненных пойменных лугах с сухими, слабокислыми, умеренно обеспеченными азотом почвами. *Nardus stricta* – группа с синэкологическим оптимумом на пустошных суходольных лугах (порядок *Nardetalia*) с кислым и бедным азотом почвами.

## 2. Метод экологических шкал

Широкое распространение в фитоиндикации получили экологические шкалы растений, которые используют для индикации комплексных климатических факторов и местообитаний растительных сообществ. Используя эти шкалы можно определить влажность,

кислотность, богатство или обеспеченность азотом почвы, степень пастбищной дигрессии и другие факторы среды.

В настоящее время разработано большое число экологических шкал для разных регионов Европы. В России широкое распространение получили амплитудные шкалы, детально разработанные Л. Г. Раменским. По этим шкалам указывается экологическая амплитуда вида, а индикаторное значение оценивается интервалом «от–до». Л. Г. Раменским были разработаны экологические шкалы для 140 видов растений, произрастающих в лесной и лесостепной зонах европейской части России. Аналогичные шкалы для фитоиндикации экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов разработаны Д. Н. Цыгановым [12].

В странах Западной Европы (Австрии, Венгрии, Дании, Голландии, Германии, Швейцарии) широкое распространение получили оптимумные экологические шкалы. По ним указывается оптимум вида на шкале фактора, т.е. оптимальные условия произрастания. По этому принципу построены экологические шкалы Г. Элленберга. Шкалы Г. Элленберга разработаны для 2770 видов и внутривидовых таксонов. Экологическая характеристика вида выявляет его отношения к освещенности, тепловому режиму, континентальности климата, увлажнению, реакции почвы, обеспеченности ее доступным азотом. Отношение видов к соответствующим факторам среды характеризуется цифрами по двенадцатибалльной шкале (фактор увлажнения) и по десятибалльной шкале для всех остальных факторов. Особую ценность этим шкалам придают данные об отношении растений к одному из важнейших экологических факторов – обеспеченности доступным азотом. Это стало возможным в связи с тем, что Элленберг придавал большое значение проблеме «азот как экологический фактор». В последней сводной работе Г. Элленберга приведены оптимумные шкалы по мхам и лишайникам. В экологических шкалах лишайников особый интерес представляет шкала



токисолерантности, используя которую можно определять степень загрязненности воздуха.

По сходному принципу созданы шкалы и другими западноевропейскими исследователями.

С помощью экологических шкал можно определять не только экологические условия местообитания растительных сообществ, но и оценивать составленную классификацию и типологию лесной и луговой растительности; учитывать характеристику изменений условий местообитания при динамике растительности – флуктуациях и сукцессиях, а также вести учет средообразующего воздействия растительности.

Метод экологических шкал приобретает большую популярность. Индикационные экологические шкалы хотя и не заменяют полностью прямые инструментальные измерения различных условий среды, но альтернативны им. Они дают сравнимые и стабильные, хотя и относительные экологические характеристики местообитаниям растительных сообществ [11,16].

### 1.3 Методы многомерной статистики в изучении растительности

Исследования растительного покрова основываются на геоботанических описаниях пробных площадок, в которых указаны количественные характеристики видов. Изучаемую растительность можно представить, как многомерную систему, метрика которой определяется количеством описаний и числом видов в описании, а признаками являются количественные характеристики видов, присутствующих в описании. Такой подход позволяет описания сводить в многомерные матрицы.

Анализ такой матрицы сводится к разбивке всей совокупности на относительно однородные группы и поиск факторов (градиентов), которые объясняют эту разбивку, определяют структуру объектов и особенности варьирования объектов и признаков в пределах обследованной территории.

Разбивка совокупности на однородные группы определяется как многомерная классификация. Выделяются две группы методов классификации. Первая группа представляет собой разбивку всей совокупности на неизвестное число классов с неизвестной характеристикой. Вторая группа представляет собой разнесение отдельных объектов совокупности в «свой» класс. Отдельно следует отметить, что методы многомерной статистики используются для анализа скрытых взаимодействий и взаимосвязей между объектами и их структурной композиции с графическим представлением результатов. Проверка статистических гипотез не является главной задачей многомерного анализа.

Многомерную классификацию можно представить, как совокупность объектов, отвечающих на данной территории группам взаимосвязанных видов и условий их местопроизрастания. Такое сочетание определяется при одновременном использовании двух групп методов – формальной разбивке описаний на группы (классы), в зависимости от количественной характеристики и встречаемости в описаниях видов, и разнесение описаний в полученные классы на основе характеристик условий местопроизрастания. Формальная разбивка описаний на группы чаще всего выполняется с использованием иерархических методов кластерного анализа. Выделение кластеров выполняется на основе расчета коэффициентов сходства, которые при необходимости могут нормироваться, представляемых в виде матриц расстояний между объектами в многофакторном пространстве. Расчет матрицы расстояния сводится к следующему. Каждый вид в описании представляет собой отдельное измерение, а количественная характеристика вида – его «координату» в этом измерении. Метрика описания зависит от количества видов. Таким образом, группировка площадок в кластеры зависит от того, совпадают ли метрики и насколько совпадают (какое количество общих

видов в описаниях), а степень близости описаний в группах определяется, исходя из рассчитанного расстояния по «координатам» видов.

Коэффициенты сходства представляют собой расстояния, связывающие признаки в многофакторном пространстве. В геоботанике и экологии используются коэффициенты Жаккара, Сьеренсена-Чекановского (Брея-Кертисса) и Эвклидово расстояние, также возможно использование нормированного коэффициента корреляции Пирсона. Необходимо помнить, что использование разных коэффициентов при выделении кластеров для одинаковых описаний может привести к несопоставимым результатам. Поэтому выбор коэффициента сопряженности определяется чаще всего возможностью последующей интерпретации полученной классификационной схемы [4].

Также используются различные алгоритмы объединения описаний в кластеры на основе мер сходства (расстояний); на сегодняшний день таких алгоритмов выделения гомогенных групп насчитывается несколько десятков. Если кластерный анализ используется не столько для выделения относительно однородных групп, сколько для построения классификационной схемы, то рекомендуется использование именно агломеративных методов группировки в кластеры. Последние позволяют строить иерархическую древообразную структуру, служащую основой для построения восходящей иерархической классификационной схемы. К алгоритмам такого типа относят:

- кластеризацию «методом ближайшего соседа», при которой выбирается пара наиболее «близких» описаний, к которым последовательно присоединяются следующие описания в зависимости от увеличения расстояния в многофакторном пространстве;

- «методом дальнего соседа», при котором группы формируются на основе максимальной разницы;

- центроидный, при котором определяются опорные «центральные» координаты кластеров, вокруг которых группируются описания;

– метод Уорда, базирующийся на группировке объектов, при которой дисперсия внутри групп должна быть наименьшей.

Вся совокупность алгоритмов группировки объектов в кластеры может быть задана обобщающей формулой, в которой конкретный алгоритм определяется величиной коэффициента «бета» – т.н. бета-гибкая стратегия Ланса.

В геоботанических и экологических исследованиях при разработке классификационных схем или первичной группировке данных чаще всего рекомендуют использовать метод Уорда, а при разбивке объектов на сходные группы – методом ближайшего соседа [15].

Если невозможно выявить экологические особенности объектов с помощью кластеризации, в этом случае выполняется анализ видовых списков с использованием коэффициентов видовой сопряженности напрямую. Определяющим является выбор коэффициента, т.к. используются не расстояния в факторном пространстве, а сами коэффициенты. Коэффициенты бывают центрированные (изменяются от  $-1$  до  $+1$ ) и нецентрированные (возрастают от  $0$  до  $1$  и выше), симметричные (не зависят от порядка сопоставления видов  $X$  с  $Y$  или  $Y$  с  $X$ ) и несимметричные, абсолютные (при расчете учитывается отсутствие обоих видов) и полные (случаи, когда оба вида отсутствуют, не учитываются). Чаще всего при расчете видовой сопряженности рекомендуют использовать коэффициенты Браве и Чупрова, которые используются для проверки гипотез о характере распределения случайных величин.

Графически нормированные коэффициенты сопряженности представляют в виде дендрограмм, построенных методом максимального корреляционного пути. Метод, является аналогом метода ближайшего соседа – выбирается пара видов с наименьшим нормированным коэффициентом сопряженности и к ним последовательно присоединяются остальные виды, по критерию максимальной сопряженности

(минимального коэффициента), а прочие связи отбрасываются. Длина связи определяется величиной видовой сопряженности: чем она выше, тем длина меньше. Впоследствии по данным дендрограммам выделяются плеяды сопряженных видов. Границы плеяд чаще всего определяются переходом коэффициента видовой сопряженности от увеличения к уменьшению.

Кластер или плеяда являются формально-статистической единицей, поэтому при использовании кластерного анализа для классификации объектов необходимо корректно сопоставлять полученные кластеры с имеющимися систематическими единицами или классификационными группами.

Разнесение описаний в уже имеющиеся группы базируется на количественном определении критериев, по которым можно разделить данные на имеющиеся классы. Для проверки такого рода предположений предлагают использовать методы кластерного, многомерного дисперсионного и дискриминантного анализа. Для анализа геоботанических описаний чаще всего используют дискриминантный анализ. Алгоритмы дискриминантного анализа максимизируют разницу между известными группами объектов в многомерном пространстве признаков. Так же используют метод проверки правильности классификации MRPP (Multi-Response Permutation Procedures) – непараметрический аналог дискриминантного анализа. В MRPP рассчитывается коэффициент внутригруппового согласия, по которому судят о степени компактности (гомогенности) выделенных групп, соответственно, точности классификации [13, 14].

Поиск градиентов, по которым структурируются описания, относится к группе методов ординационного анализа. Методы ординации используются, для оценки взаиморасположения объектов (описаний, классов) в пространстве градиентов среды. В экологии ординация – любое упорядочение объектов вдоль некоторой или некоторых осей.

Выделяют две группы методов ординации – прямая и непрямая. Прямой градиентный анализ впервые был предложен Раменским, а его методика сводится к размещению описаний (или видов) в осях экологических факторов при известных количественных характеристиках фактора для каждого описания. На сегодняшний день прямой градиентный анализ выполняется с использованием формальных статистических процедур, в частности, многомерного регрессионного анализа, канонического анализа соответствия, анализа избыточности и его модификации, основанной на определении меры расстояния.

Суть метода состоит в сопряжённом анализе двух матриц – видов описаний и факторов среды описаний, ранжированных по кодам пробных площадей. Определяется сила связи между изменениями количественных показателей видов и режимами экологических факторов. Целью анализа является выявление факторов, определяющих изменения видового состава и численности (проективного покрытия, встречаемости и т.д.) видов, а также выявление того, каким образом происходит ранжирование описаний по этим ведущим факторам среды.

Непрямой градиентный анализ основан на анализе матрицы видов описаний. При этом в ходе анализа матрицы выделяются условные оси (факторы), которые задают градиенты вариации растительности, и вдоль которых возможна группировка и ранжирование описаний. Полученные оси сопоставляются с режимами экологических факторов. Данная модель предполагает формальное выделение таких градиентов.

Чаще всего для непрямой ординации описаний используют метод главных компонент (Principal Component Analysis). Суть метода состоит в том, что определяются собственные значения – векторы – корреляционной или ковариационной матрицы, линейная комбинация которых позволяет объяснить максимальную долю общей дисперсии количественных данных. В результате преобразования корреляционной (ковариационной) матрицы полученные факторы могут использоваться для описания варьирования

признаков. Корреляции между собственными векторами и первичными данными (признаками, переменными) являются факторными нагрузками на вектор (компоненту, ось) и используются для интерпретации осей. Чем больше факторная нагрузка на ось – тем большую индикативную ценность представляет признак. Число осей (компонент) равно числу трансформаций матрицы и максимально соответствует числу анализируемых переменных. В анализе же выделяется небольшое число компонент – чаще всего первые три, которые объясняют наибольшую долю дисперсии. Минимально достаточное число осей, необходимых для объяснения вариабельности признаков определяется различными методами. Одним из них является «метод каменистой осыпи» – график изменения собственных значений от порядкового номера оси.

Поскольку при использовании метода главных компонент происходит редукция большого количества переменных до нескольких факторов, связанных с группами переменных, то этот метод также может использоваться и для классификации объектов. В геоботанике используют два варианта метода главных компонент. При R-анализе обрабатывается матрица признаков в факторном пространстве описаний. В этом случае выполняется ординация видов и градиенты распределения видов. При Q-анализе – матрица описаний в факторном пространстве признаков. В этом случае выполняется ординация описаний и, соответственно определение факторов распределения объектов. Основным недостатком метода главных компонент является линейность модели и использование параметрических статистических коэффициентов – ограничения такие же, как и для дискриминантного анализа.

Здесь нужно отметить, что для биологических объектов линейные зависимости вообще являются не правилом, а исключением. Например, характер изменения численности вида в зависимости от градиента фактора даже в идеальном случае описывается параболой. В реальности форма кривой может быть далекой даже от параболы, а на части градиентов

некоторые виды вообще могут отсутствовать. Соответственно, при использовании линейных моделей показатели численности теоретически могут оказаться отрицательными. Следовательно, реальные взаимодействия видов с факторами не могут быть линейными и линеаризованными. Также искажения линейности модели возникают при высоком бета-разнообразии исследуемых сообществ, немонотонном изменении численности вида в градиенте фактора. Кроме того, алгоритм метода главных компонент может учитывать нулевые значения как проявления положительных взаимодействий. Вышеизложенное накладывает существенные ограничения на использование метода главных компонент при ординации растительного покрова. Такими ограничениями являются:

- наличие относительно гомогенных геоботанических описаний или небольших трансепт;
- отсутствие высокого ценотического разнообразия;
- короткие градиенты факторов.

Кроме того, метод главных компонент может использоваться в качестве теста на нелинейность и определения пространственной неоднородности сообществ.

#### 1.4 Экологическое картографирование как метод пространственного отображения фитоиндикации

Экологическое картографирование – наука о способах сбора, анализа и картографического представления информации о состоянии среды обитания человека и других биологических видов, т.е. об экологической обстановке.

Целью экологического картографирования является анализ экологической обстановки и ее динамики, т.е. выявление пространственной и временной изменчивости факторов природной среды, воздействующих на здоровье человека и состояние экосистем. Для



достижения этой цели требуется выполнить сбор, анализ, оценку, интеграцию, территориальную интерпретацию и создать географически корректное картографическое представление весьма многообразной, нередко трудносопоставимой экологической информации.

Источники для создания карт

Картография нужна многим отраслям хозяйства, науки, культуры, образования и другим сферам жизни общества. Сама же она для получения необходимых сведений использует многие источники, по которым ведется составление карт.

К источникам принадлежат:

- астрономо-геодезические данные;
- общегеографические и тематические карты;
- кадастровые данные, планы и карты;
- данные дистанционного зондирования;
- данные непосредственных натуральных наблюдений и измерений;
- данные гидрометеорологических наблюдений;
- материалы экологического и других видов мониторинга;
- экономико-статистические данные;
- цифровые модели;
- результаты лабораторных анализов;
- литературные (текстовые) источники;
- теоретические и эмпирические закономерности.

В зависимости от тематики и назначения создаваемого картографического произведения одни из источников выступают как основные, а другие оказываются дополнительными. Так же различают источники современные, отражающие нынешнее состояние картографируемого объекта, и старые, показывающие его прошлые состояния или ранние стадии изученности.

Кроме того, источники, привлекаемые для картографирования, подразделяют на первичные, полученные в ходе прямых измерений и

наблюдений, и вторичные, являющиеся результатом обработки и преобразования первичных материалов. Естественно, что первичные и вторичные источники различаются по достоверности, точности, уровню обобщения, степени генерализации и другим характеристикам, которые привносятся в процессе обработки.

Картографический метод исследования

Картографический метод исследования — это метод использования карт для познания изображенных на них явлений.

Использование карт теснейшим образом связано с их составлением. Источником исходной информации служит окружающая действительность. При картографировании выборочные наблюдения преобразуют в карты, т.е. создают модели этой действительности. В ходе картографического моделирования происходит сложная научная обработка данных, связанная с абстрагированием, анализом и синтезом. Все это, определяется целями и назначением карты.

В ходе последующего использования карт происходят новые преобразования информации, которые также зависят от поставленных целей, квалификации и опыта исследователя, применяемых технических средств, алгоритмов и программ и т.п.

Таким образом, существуют два тесно сопряженных между собой метода:

1. Картографирование, или картографический метод отображения, цель которого состоит в переходе от реальной действительности к карте (модели).

2. Картографический метод исследования, использующий готовые карты (модели) для познания действительности.

Эти методы перекрываются и имеют многие обратные связи. Так, условия использования карт определяют требования к условиям их создания. В ходе исследования получают новые производные карты, которые вновь поступают в исследование. При интерактивном

компьютерном создании карт, в особенности при применении геоинформационных технологий, оба метода настолько тесно переплетаются, что часто трудно различить, где кончается составление и начинается использование и преобразование карты. Многие оценочные и прогнозные карты составляют в результате трансформирования и синтеза нескольких аналитических карт.

Подготовка картографического материала на основе натуральных измерений.

Полевые исследования выполняются для получения качественных и количественных показателей и характеристик состояния компонентов экологической обстановки (геологической среды, поверхностных и подземных вод, почв, растительности и животного мира, антропогенных воздействий), а также комплексной ландшафтной характеристики территории, с учетом ее функциональной значимости и экосистем в целом. Маршрутные наблюдения при необходимости дополняются полевым дешифрированием аэрокосмических снимков, инструментальными измерениями, отбором и последующим лабораторным анализом проб.

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦПКИО И НИКОЛЬСКОЙ РОЩИ. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Характеристика ЦПКиО и методика исследования

Центральный парк культуры и отдыха (ЦПКиО) г. Челябинска находится в Челябинском городском бору. Челябинский бор расположен по правому берегу р. Миасс. Общая протяженность с северо-востока на юго-запад около 5,5 км, а средняя ширина около 2 км. Общая площадь бора, за вычетом свободных от леса площадей, не более 12 км<sup>2</sup>, из них лесной площади – 1138 га., а лесопокрытой – 852 га. В нем закладывалось 20 геоботанических площадок согласно методике исследования лесных сообществ, по которым и проводились эколого-ценотические оценки.

Челябинский сосновый бор лежит на Челябинском гранитном массиве. Рельеф всхолмленный, с отдельными сопками высотой 8–15 м с пологими склонами. Во многих местах бора имеются выходы гранитного фундамента на поверхность в виде каменных глыб, россыпей, больших гранитных плит.

Широкая низменная долина р. Миасс, лежащая на границе бора, заходит в некоторых местах глубоко в сосновый массив на расстояния от 100 до 400 и даже до 700 м от уреза воды. Это большей частью болотистые и мокро-луговые пространства.

Граниты бора разнообразны: розовый, крупно- и мелкозернистый, залегающий в северо-западной части бора, светло-серые гранито-порфириты с крупными включениями полевого шпата, и, наконец, серые слюдяные, среднезернистые – в южной части бора.

Р. Миасс огибает бор с запада и севера. Длина р. Миасс в пределах бора около 10 км.

На территории бора есть несколько живописных искусственных водоемов в бывших каменоломнях. В дореволюционное время и в годы первых пятилеток советской власти активно разрабатывались

месторождения гранита. Свои карьеры в бору имели горкомхоз, ЧТЗ, ЧГРЭС, ферросплавный завод, «Станкострой». Со временем гранит потерял популярность, уступив дорогу более современным строительным материалам, и каменоломни остались брошенными и заполнились водой. Теперь карьеры стали украшением Челябинского бора. В бору расположены несколько достаточно крупных карьеров, а также целый архипелаг мелких в Парке имени Гагарина (например, рядом с беседкой). Крупные карьеры пользуются большой популярностью среди отдыхающих, это карьеры Изумрудный, Шершневецкий (Студенческий) и Голубой (Уфимский).

Есть на территории бора естественное лесное озеро – в квартале 41. Озерцо типичное лесное, блюдцеобразное, частично заболоченное. Озеро интересно своеобразной болотной растительностью, обитающими в нём в большом количестве тритонами.

Р. Чикинка берет начало в 30 квартале, пересекает весь бор, впадает в р. Миасс.

В бору довольно много заболоченных пространств, главным образом по берегам Миасса, а также по течению р. Чикинки, в старых выработках камня и в понижениях рельефа.

Зеленый массив бора представлен в основном сосновыми породами (91,4 %) с примесью березы бородавчатой и пушистой, осины и ольхи. В последние годы в состав древостоя введены тополь бальзамический, клен ясенелистный, остролистный и татарский, карагач, лиственница сибирская, дуб черешчатый. На более увлажненных участках растут смешанные сосново-березовые растительные сообщества, на болотистых – ольшаники. В глубине бора и на его окраинах, преимущественно на бывших пожарищах, встречаются участки березняков. В сильно разреженных сосновых насаждениях хорошо развит подлесок: кизильник черноплодный, боярышник кроваво-красный, шиповник коричный, жимолость татарская, ракитник русский, спирея городчатая, рябина обыкновенная, дрок

красильный, малина. Травяной покров бора насчитывает более двухсот видов и не отличается своеобразием. В глубине бора у основания сосен можно встретить кукушкин лен, зеленые мхи. Кое-где сохранились небольшие участки с напочвенным покровом из различных видов кустистых лишайников.

Для определения эколого-ценотической оценки насаждений закладывалось 20 геоботанических площадок [3] (рисунок 1).

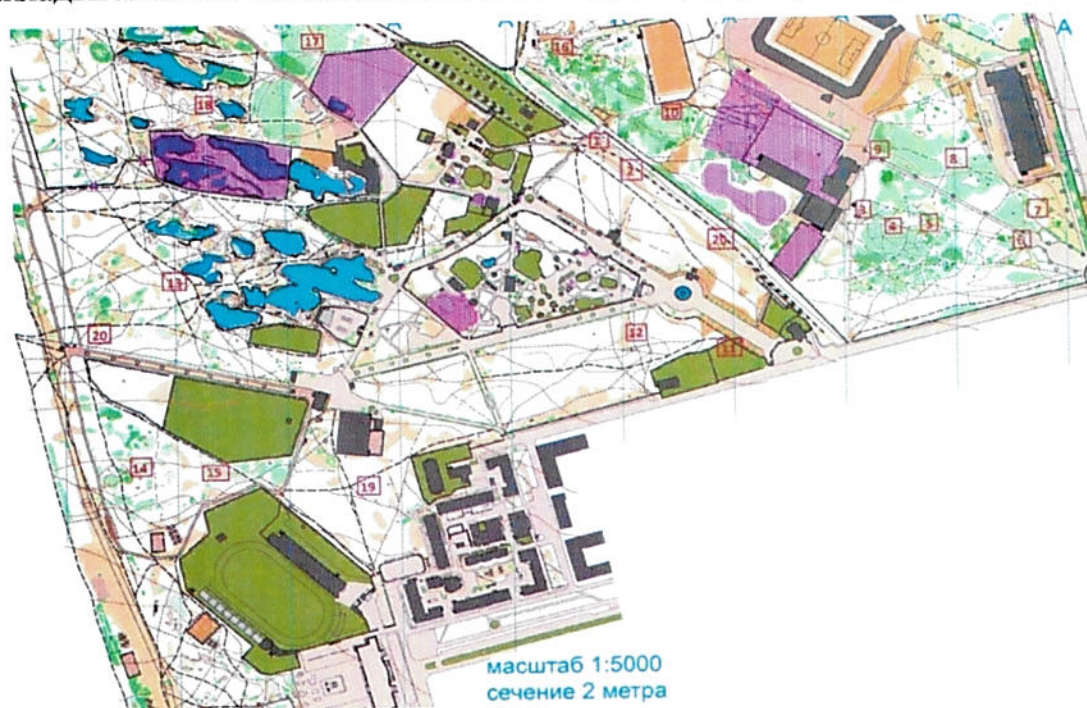


Рисунок 1 – Геоботанические площадки, заложенные в Центральном парке культуры и отдыха г. Челябинска

Обработка описаний выполнялась кластерным анализом с использованием коэффициента Серенсена-Чекановского и группировкой в кластеры по бета-гибкой стратегии Ланса [6], а также методом неметрического многомерного шкалирования [1,8,9] как непрямая ординация описаний. На следующем этапе проводилась фитоиндикация биотопов с использованием унифицированных индикационных шкал [7] с последующей интерпретацией осей [10] с использованием коэффициента тау-Кэндалла. На последнем этапе выделенные при кластеризации и ординации сообщества и биотопы оценивались методами дискриминантного анализа [1,9] по алгоритму General Discriminant Analysis. Также рассчитывались показатели

фиторазнообразия (индекс Шеннона, выравненности и Симпсона) [5]. Все расчеты выполнялись в пакетах прикладных программ Statistica и PC-ORD[5].

## 2.2 Характеристика парка Никольская роща и методика исследования

Парк Никольская Роща находится в Тракторозаводском районе г. Челябинска. Это сохранившаяся на территории Челябинска в форме квадрата лесопарковая зона, площадь которой составляет почти 45 гектаров. В парке есть хорошо развитая сеть прогулочных троп. Участок огорожен по периметру, является охраняемой территорией. В парке встречаются характерные для парковой растительности виды, а также занесенные на эту территорию виды.

В ходе работы использовался геоботанический метод исследования.

Геоботанические исследования – это изучение фитоценозов, их классификационных систем и закономерностей географического распространения, которые связаны с особенностями условий среды и фитоценологических отношений.

Для исследования закладывалось 15 геоботанических площадок [3] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Геоботанические площадки, заложенные в парке Никольская Роща



Исследование фитоценозов осуществляется при использовании методики полевых геоботанических описаний. На первоначальном этапе выполняется выбор места и заложение пробной площади, размер которой зависит от выделенного однородного сообщества. Так, площадь лесного сообщества закладывается размеров в 400500 м<sup>2</sup> (20 × 20 м ;25 × 25 м), площадь луговых и болотных сообществ закладывается размеров в 100 м<sup>2</sup> (10 × 10 м). Описание выполняется при помощи бланков геоботанических описаний, которые отражают условия формирования фитоценоза (характеристика области или района исследования – географическое положение, рельеф, микрорельеф, особенности антропогенной трансформации и т.п.) и подробную характеристику флористического состава (видовой список, ассоциации, ярусность, аспект, обилие и т.п.) [9].

Для описания фитоценозы классифицируются на различные таксономические единицы для учета всех параметров и всестороннего анализа. Ярусность (вертикальное расчленение фитоценоза) – вертикальное строение сообществ, которое структурно разграничено на горизонты надземных и подземных функциональных частей флористического состава.

Мозаичность – горизонтальная неоднородность фитоценоза, которая характеризует неравномерное распределение растений в пространстве в зависимости от орографии, сложения почвенного покрова, фитоценологических взаимосвязей и индивидуальных фенологических особенностей.

Общее проективное покрытие (для травянистых растений) – величина проекции надземных органов растений на поверхности почвы, которая выражается в процентах и может определяться глазомерно. Этот показатель отражает конкуренцию растений за свет, влагу, питательные вещества и пространство.

Сомкнутость крон – показатель древесного и кустарникового ярусов, который отражает площадь проекций крон деревьев. Этот показатель принято выражать в долях от единицы или в процентах путем

глазомерного оценивания небосвода относительно к закрытой части неба кронами деревьев. Например: кроны закрывают  $\frac{1}{2}$  часть неба, где степень сомкнутости равна 0,5, то есть составляет процентное отношение равно 50 %.

Аспект – внешний вид фитоценоза, который зависит от флористического состава, индивидуального фенологического состояния растений и их количественного соотношения. Наименование физиогномической характеристики дается по преобладающему аспектному виду с последовательным присоединением существующих аспектов [9].

Признак обилия используется при описании фитоценоза для определения количественного соотношения в нем. Обилие – суммарная оценка числа особей каждого вида в пределах пробной площади. Объективный подсчет ведется по учету обилия пород деревьев, где название пород представляют по первой букве в сокращении и цифрами отражают соотношение пород по числу особей. Субъективный подсчет ведется по шкале О. Друде для травянистых растений с помощью условных обозначений и определяется визуально на глаз для каждого вида на заложенной площадке.

Градация шкалы О. Друде для понимания и удобства использования с наглядным объяснением основных лексических обозначений (сокращений) отражена на рисунке 3 (точками обозначены экземпляры растений, цифрами под квадратами – число экземпляров).

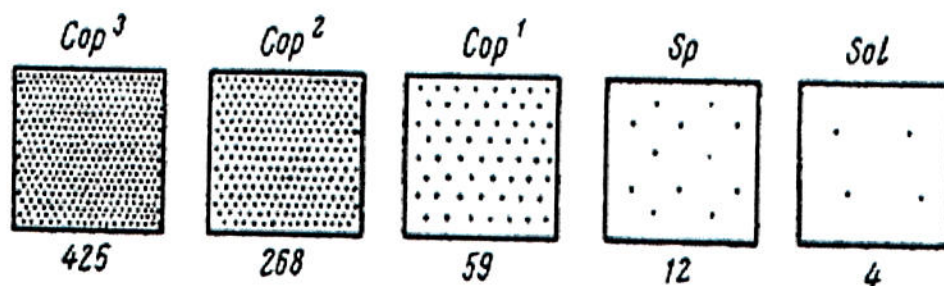


Рисунок 3 – Сопоставление ступеней обилия в градациях шкалы О. Друде на площади в 100 м<sup>2</sup> [9]

Таблица 1 отражает комбинированный подход к оценке признака

обилия для точных геоботанических описаний, что повышает точность геоботанических исследований. Это дает возможность использовать системно-сравнительный анализ

Таблица 1 – Шкалы обилия (численности) видов растений

Характер обилия	Шкала О.Друде
Сплошь (растения смыкаются надземными частями)	Soc (sociales)
Очень обильно	Cop 3 (copiosus)
Обильно	Cop 2 (copiosus)
Довольно обильно	Cop 1 (copiosus)
Рассеяно	Sp (sparsus)
Единично	Sol (solitarius)
Чрезвычайно редко	Rr (rarissimo)
Единственный Экземпляр	Un (unicum)

Ассоциация – совокупность растительных сообществ, которая имеет однородный видовой состав и обладает сходными экологическими условиями и фитоценотическими взаимосвязями.

Название ассоциации отражает доминантные виды (эдификаторы сообщества), наименование которых дается от верхних ярусов к нижним, а внутри каждого яруса – по возрастанию преобладания в фитоценозе. Полидоминантные ассоциации соединяются знаком «+» и сохраняют преобладание в наименовании в последовательном порядке.

Доминантами (господствующие) называют виды растений, которые численно по фитомассе или проективному покрытию преобладают в фитоценозе и отдельных его ярусах, независимо от роли этих растений в сложении фитоценоза. Растения, доминирующие в подчиненных ярусах, называют содоминантами. Растения, которым принадлежит ведущая определяющая роль в сложении фитоценоза, в создании условий местообитания сообщества, его фитоклимата и почвы, независимо от их количества, называют эдификаторами [9].

### ГЛАВА 3. БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПАРКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСК

#### 3.1 Эколого-ценотическая структура растительности ЦПКиО

Оценка фиторазнообразия сообществ выполнялась с расчетом классических коэффициентов биоразнообразия – индексов Шеннона, Пилу (мера выравненности Шеннона) и Симпсона (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели фиторазнообразия сообществ ЦПКиО

Площадка	Индекс Шеннона	Мера выровненности Шеннона	Индекс Симпсона
1	2,9	1,0	0,0
2	2,8	1,0	0,1
3	2,7	1,0	0,1
4	2,1	1,0	0,1
5	2,3	1,0	0,1
6	2,8	1,0	0,1
7	2,1	1,0	0,1
8	2,1	1,0	0,1
9	2,1	1,0	0,1
10	2,1	1,0	0,1
11	2,4	1,0	0,1
12	2,4	1,0	0,1
13	2,3	1,0	0,1
14	2,5	1,0	0,1
15	2,6	1,0	0,1
16	2,8	1,0	0,0
17	2,7	1,0	0,0
18	2,8	1,0	0,0
19	2,3	1,0	0,1
20	2,7	1,0	0,1

Как видно из приведенных индексов, сообщества парков характеризуются одним, максимум двумя доминантными видами, невысоким фиторазнообразием и примерно одинаковым числом видов со сходными показателями численности.

Оценка растительности формальными методами многомерной статистики предполагает выделение единиц растительного покрова фитоценозов на основе константных и наиболее численных видов [2]. Кластеризация описаний позволила выделить 9 типов сообществ парковой растительности.

1. Сосняк волосистоосоковый (*Pinus sylvestris* L. – *Carex pilosa* Scop.), в травостое также содоминирует *Trifolium repens* L..

2. Дубо-сосняк ползучеклеверный (*Pinus sylvestris* L. + *Quercus robur* L. – *Trifolium repens* L.), в древостое присутствуют также *Acer negundo* L. и *Tilia cordata* Mill., а в травостое содоминирует *Plantago major* L..

3. Липняк крапивный (*Tilia cordata* Mill. – *Urtica dioica* L.), в древостое также присутствуют *Pinus sylvestris* и *Abies sibirica* Ledeb., а в травостое содоминируют *Trifolium repens* и *Achillea millefolium* L..

4. Липо-сосняк земляничный (*Pinus sylvestris* L. + *Tilia cordata* Mill. – *Fragaria vesca* L.), в древостое также присутствует *Acer negundo*, а в травостое содоминирует *Plantago lanceolata* L..

5. Липо-сосняк рябиново-земляничный (*Pinus sylvestris* L. + *Tilia cordata* Mill. – *Sorbus aucuparia* L. – *Fragaria vesca* L.), в древостое присутствует *Ulmus glabra* Huds и *Acer negundo*, в кустарниковом ярусе – *Sambucus racemosa* L., а в травостое содоминирует *Plantago major*.

6. Сосно-липняк бруснично-ползучеклеверный (*Tilia cordata* Mill. + *Pinus sylvestris* L. – *Trifolium repens* L. + *Rhodococcum vitis-idaea* (L.) Avror.), кустарниковый ярус представлен *Sorbus aucuparia*, в травостое доминирует брусника и клевер ползучий.

7. Березово-сосняк малиново-крапивный (*Betula pendula* Roth. + *Pinus sylvestris* L. – *Rubus idaeus* L. – *Urtica dioica* L.).

8. Липо-сосняк луговомятликовый (*Pinus sylvestris* L. + *Tilia cordata* Mill. – *Poa pratensis* L.), в травостое также содоминируют *Achillea millefolium* и *Artemisia absinthium* L..

9. Сосняк луговоклеверный (*Pinus sylvestris* L. – *Trifolium pratense* L.), в травостое содоминирует *Achillea millefolium*.

Оценка выделенных сообществ методами дискриминантного анализа показала 80 % точность классификации по наличию видов и величинам их численности. При этом правильность классификации для первых шести сообществ составляла 100 %, что указывает на специфичность их показателей фиторазнообразия и, прежде всего, видового состава. Для березово-сосняков малиново-крапивных точность составила 66,7 % и при этом часть описаний оказалась по видовому составу близка соснякам лугово-клеверным. С другой стороны, для луговоклеверных сосняков точность оказалась еще ниже (33,3 %), а часть описаний были отнесены к березово-соснякам малиново-крапивным. Таким образом, эти две ценохоры являются близкими по произрастающим в них видам и по их численности. Наконец, для липо-сосняков луговомятликовых точность классификации оказалась нулевая, а по встречаемости и численности видов эти сообщества были отнесены к сосно-липнякам бруснично-ползучеклеверным.

Также необходимо отметить, что значимыми с высокой информативностью (статистически значимые величины Лямбда Уилкса и F-удаленное при уровне значимости  $< 0,0,5$ ), определяющими дискриминацию на ценохоры являются следующие виды: древесные – *Alnus incana* (L.) Moench., *Acer negundo* и *Ulmus glabra*, травянистые – *Matricaria recutita* L. и *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., а также единственный вид-доминант *Urtica dioica*.

В связи с неоднозначностью классификации сообществ по показателям фиторазнообразия, оценка выделенных фитоценохор выполнялась по их биотопам в пространстве осей многомерного

шкалирования и фитоиндикационных шкалах: почвенного увлажнения (hd) и его переменности (fh), солевого (sl), азотного (nt) и кислотного (rc), режимов, режима кальция (Ca) и почвенной аэрации (ae), термо- (tm) омбро- (om) и криоклимата (Cr), континентальности (Kn) и освещенности (lc).

Точность классификации выделенных сообществ в эколого-ценотическом пространстве являлась 100 %. Таким образом, несмотря на близость флористического состава некоторых растительных сообществ парка, биотопы этих сообществ характеризуются специфическими режимами ведущих экологических факторов. По результатам дискриминантно анализа ведущими факторами, определяющими различия биотопов, являются режимы почвенного и атмосферного увлажнения и режим аэрации почв, а также ценотические факторы (оси неметрического шкалирования).

В среднем биотопы выделенных сообществ характеризуются следующими показателями режимов ведущих эдафических факторов (таблица 3): почвенное увлажнение – режим сухолесной (мезоксерофильный); переменность почвенного увлажнения – умеренно-переменное с полным промачиванием корнеобитаемого горизонта; кислотность – почвы близкие к нейтральным; солевой режим – богатые солями почвы близкие к выщелоченным черноземам; режим кальция – невысокое содержание карбонатов близкое серым лесным почвам; азотный режим – относительно бедные минеральным азотом почвы; почвенная аэрация – умеренно аэрированные суглинистые и супесчаные почвы с умеренным промачиванием корнеобитаемого слоя; по климатическим факторам ценозы ЦКПиО соответствуют следующим режимам: термоклимат – неморальный тип, омброрежим – пергумидный тип, континентальность – резко континентальный тип; криоклимат – тип умеренных зим, освещенность – полуосветленный тип экологической структуры.

Таблица 3 – Фитоиндикационные характеристики биотопов сообществ ЦПКиО г. Челябинска, балл

№ фитоцено-хоры	Режим биотопа											
	hd	fh	rc	sl	Ca	nt	ae	tm	om	Kn	Cr	lc
1	11,5	6,6	7,4	7,6	6,7	6,1	7,1	8,2	12,9	8,8	8,1	7,0
2	11,7	6,5	7,5	7,1	7,0	6,5	7,1	8,6	13,0	8,7	8,3	7,0
3	11,5	6,7	7,9	7,3	7,1	6,6	7,2	8,6	13,1	8,3	8,3	7,1
4	11,2	6,1	7,7	7,1	6,6	6,1	6,9	8,6	13,0	8,8	8,4	6,9
5	12,0	6,2	6,6	6,4	6,5	5,5	6,8	8,4	13,6	8,4	8,2	6,5
6	11,4	6,7	7,1	6,9	6,7	5,1	6,8	8,4	13,3	8,8	8,2	7,0
7	11,7	6,7	7,4	6,8	6,9	6,3	7,3	8,3	13,7	8,3	8,2	6,8
8	11,0	5,8	7,8	7,2	6,5	6,6	6,5	8,3	13,1	9,0	8,0	7,4
9	11,4	6,5	7,5	7,4	6,8	6,8	7,5	8,3	13,0	8,6	8,3	7,2
Среднее	11,5	6,5	7,5	7,1	6,8	6,3	7,1	8,5	13,1	8,6	8,2	7,0

При этом определяются индикативные сообщества ЦПКиО, связанные с определенными типами режимов ведущих абиотических факторов:

1) сосняк волосистоосоковый – наибольшие величины солевого режима почв (переходный к богатым солям почвам черноземного типа) и наименьшие показатели термо-и омброрежима;

2) липняк крапивный – наибольшие показатели режимов переменности почвенного увлажнения (умеренно переменное, близкое гигротопам луговых степей при незначительном промачивании корнеобитаемого горизонта), кислотности почв (нейтральные почвы) и режима кальция (небольшое содержание карбонатов уровня серых лесных почв), а также максимальные значения режима континентальности;

3) липо-сосняк земляничный – наименьшие величины термо- и криорежима;



4) липо-сосняк рябиново-земляничный – наибольшие величины почвенного увлажнения (переходный от сухо- к влажно-лесному, мезофильный тип) и наименьшие кислотного (слабокислые почвы), солевого (небогатые солями близкие подзолистым почвы) и содержания кальция (бедные карбонатами) почв при наименьшем режиме освещенности (полутеневой тип экологической структуры);

5) сосно-липняк бруснично-ползучеклеверный – наибольшие показатели режимов переменности почвенного увлажнения (умеренно переменное, близкое гигротопам луговых степей при незначительном промачивании корнеобитаемого горизонта) и наименьшие величины азотного режима почв (бедные минеральным азотом);

6) березово-сосняк малиново-крапивный – наибольшие показатели режимов переменности почвенного увлажнения (умеренно переменное, близкое гигротопам луговых степей при незначительном промачивании корнеобитаемого горизонта) и наибольшие величины омброрежима;

7) липо-сосняк лугомятликовый – наименьшие величины режимов почвенного увлажнения (сухолесной), его переменности (умеренно неравномерный с полным промачиванием корнеобитаемого горизонта), кальция (бедные карбонатами почвы) и аэрации почв (умеренно аэрированные сухие глинистые почвы) и криоклимата. а также максимальные величины континентальности и режима освещенности; таким образом, несмотря на то, что данное сообщество не характеризуется специфическим видовым составом, оно связано с уникальными для парка биотопами;

8) сосняк луговоклеверный – наибольшие величины почвенного азота (богатые минеральным азотом) и аэрации почв (слабо аэрированные глинистые почвы).

Анализ описаний выделенных растительных сообществ ЦПКиО методом неметрического многомерного шкалирования по показателям стресса позволил выделить две оси ординации. Результаты интерпретацией

осей (таблица 4) показали, что ведущим фактором формирования ценотической структуры растительности парка (первая ось шкалирования) является нарастание режима почвенной аэрации.

Таблица 4 – Идентификация осей многомерного шкалирования сообществ ЦПКиО города Челябинска

Ось	Режим биотопа											
	hd	fh	rc	sl	Ca	nt	ae	tm	om	Kn	Cr	lc
NMS_1	-0,17	-0,20	-0,04	0,09	-0,30	-0,27	<b>-0,38</b>	-0,08	0,00	0,14	0,09	-0,15
NMS_2	<b>0,43</b>	0,11	<b>-0,37</b>	<b>-0,44</b>	-0,01	<b>-0,45</b>	-0,20	0,10	<b>0,33</b>	-0,32	-0,08	<b>-0,62</b>

\_\_\_\_\_

полу жирным выделены статистически значимые величины тау-Кендалла

Вторым по значимости (вторая ось) комплексным фактором является нарастание почвенного и атмосферного (омброрежим) увлажнения при нарастании кислотности почв и падении содержания в почве солей и азота (оподзоливание), а также уменьшение освещенности под пологие леса.

Ординация сообществ выполнена тремя способами: по матрице квадрата расстояния Махаланобиса (с построением дендрограммы методом максимального корреляционного пути [4]), в осях неметрического многомерного шкалирования и в первых двух осях дискриминантных функций.

Ординация по матрице квадрата расстояния Махаланобиса (на рисунке 4 указан цифрами) выявила наличие двух более крупных биотопических центров.

Первый центр образуют биотопы сосняков волосистоосоковых (1) и липо-сосняков земляничных (4) и близких им липняков крапивных (3), близкие по режиму почвенного увлажнения. От этого центра отходят липо-сосняки рябиново-земляничные (5) и сосно-липняки бруснично-ползучеклеверные (6). В целом биотопы этих ценозов образуют ряд эдафического замещения по солевому и азотному режимам и содержанию в почве кальция. Второй биотопический центр формируют березово-

сосняки малиново-крапивные (7) и сосняки луговоклеверные (9), с которыми связаны липо-сосняки луговомятликовые (8). В целом эти два центра, связанные через (2) дубо-сосняки ползучеклеверные формируют ряд гигрогенного замещения парковых сообществ.

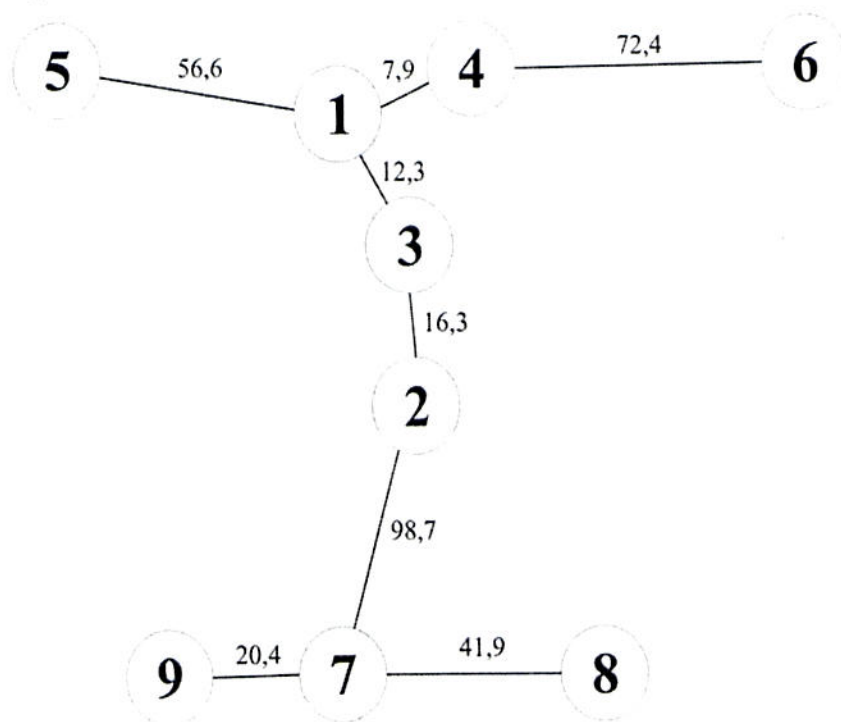


Рисунок 4 – Ординация сообществ ЦПКиО г. Челябинска методом максимального корреляционного пути

Вторая ординация в осях неметрического многомерного шкалирования (рисунок 5) показывает наличие ряда ценотического замещения по первой оси, связанной с режимом почвенной аэрации от березово-сосняков малиново-крапивных (7) до липо-сосняков земляничных (4), липо-сосняков рябиново-земляничных (5) и сосняков волосистоосоковых (1). А ординация сообществ ЦПКиО в эколого-ценотическом пространстве (рисунок 6) первых двух дискриминантных функций дает более четкую и однозначную картину наличия рядов замещения, но свидетельствующая о перекрытии ниш для одних и тех же растительных сообществ парка. Данные ряды являются гидросериями от более сухих к более влажным биотопам, а сами ряды отличаются по эдафическим режимам биотопов.

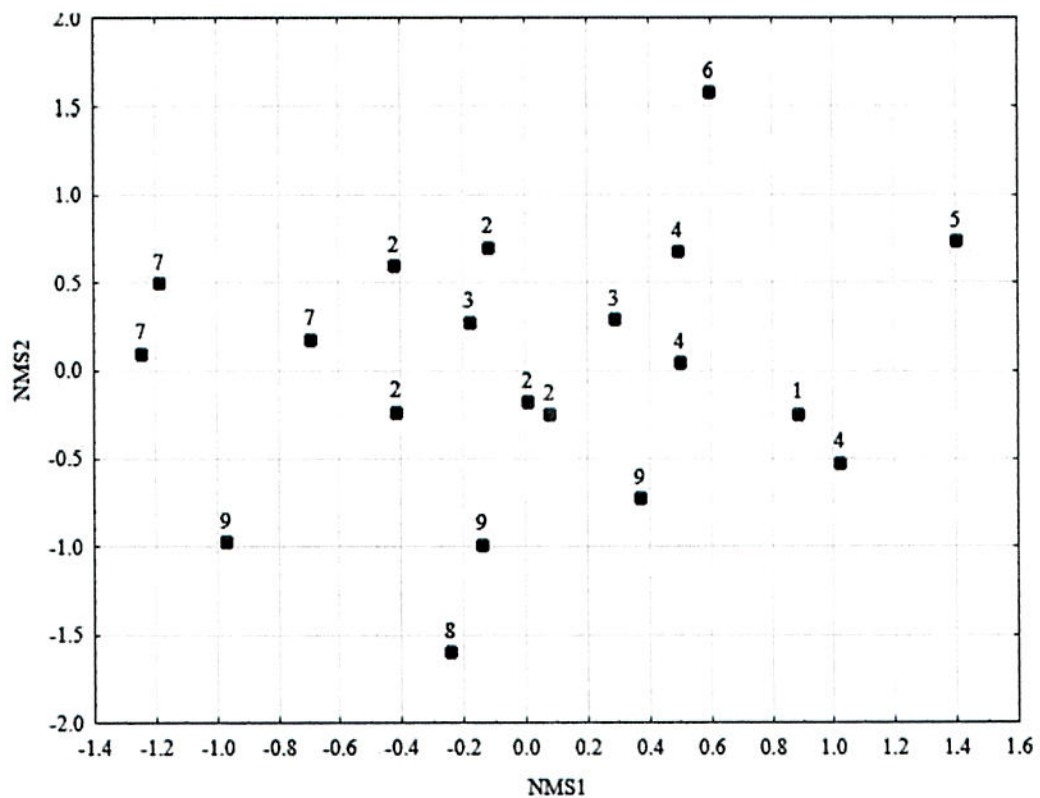


Рисунок 5 – Ординация сообществ ЦПКиО города Челябинска в осях неметрического многомерного шкалирования (NMS\_1, NMS\_2)

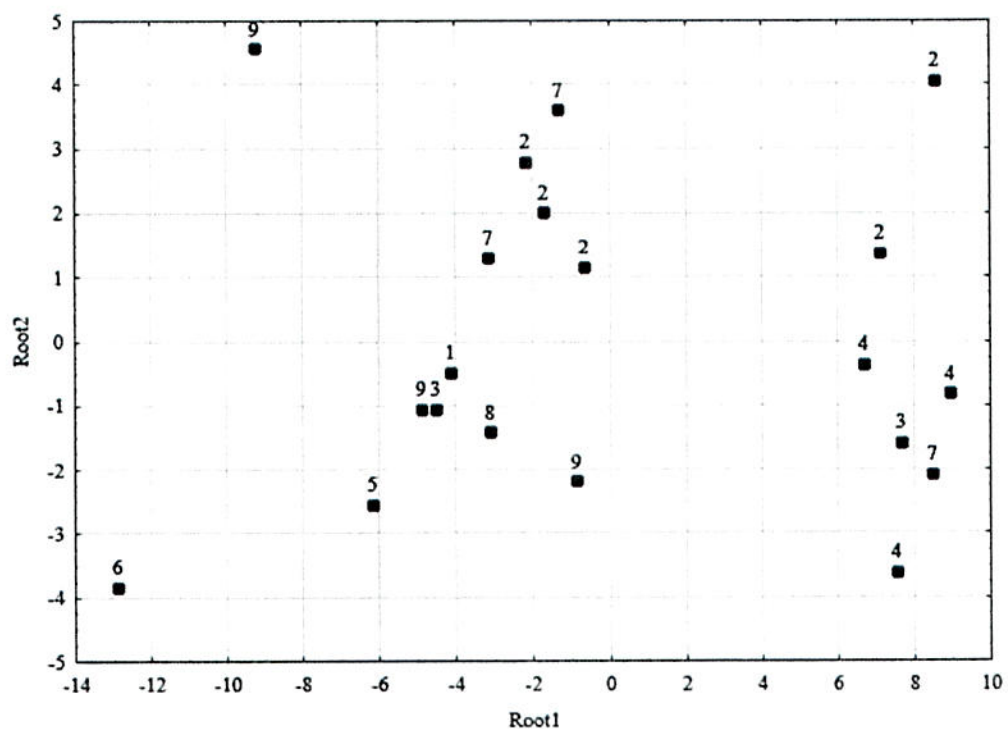


Рисунок 6 – Ординация сообществ ЦПКиО города Челябинска в осях первых дискриминантных функций (Root\_1, Root\_2)

Таким образом, для ЦПКиО г. Челябинска выделено 9 типов сообществ растительности со специфическими показателями фиторазнообразия, прежде всего, видового состава. Значимыми с высокой информативностью для классификации определяются – *Alnus incana*, *Acer negundo*, *Ulmus glabra*, *Matricaria recutita* *Potentilla erecta* и *Urtica dioica*.

Несмотря на близость флористического состава некоторых растительных сообществ парка, биотопы этих сообществ характеризуются специфическими режимами ведущих экологических факторов. Ведущими факторами, определяющими различия биотопов, являются режимы почвенного и атмосферного увлажнения и режим аэрации почв и ценоотические факторы. Ведущим фактором формирования ценоотической структуры растительности парка является нарастание режима почвенной аэрации, вторыми по значимости комплексными факторами являются нарастание почвенного и атмосферного увлажнения оподзоливание и уменьшение освещенности под пологом леса.

Для сообществ ЦПКиО определены режимы ведущих абиотических факторов, выявлено наличие двух биотопических центров и рядов ценоотического и биотопического замещения, связанных с режимами увлажнения и эдафическими режимами биотопов.

### 3.2 Анализ экоморф парка Никольская Роща

Для исследования закладывалось 15 геоботанических площадок [3] (рисунок 2).

Для исследования был проведен экоморфический анализ. Он является способом оценки биотопического и ценоотического фиторазнообразия.

Такая оценка рассматривается как система адаптаций видов к лесорастительным условиям по соотношению экологических групп – климаморф (климат), трофоморф (трофность почв), гигроморф (увлажнение), гелиоморф (освещенность) и ценоморф (ценоз) [12].

Климаторфы (жизненные формы Раункиера – рисунок 7) отражают разнообразие к климатическим факторам региона. Распределение климаторф выделяет 3 доминирующих группы: гемикриптофиты (Hkr) составляют 45 % флоры, а доля фанерофитов и терофитов (Ph и T) находятся в почти равных процентных соотношениях – 20 %.



Рисунок 7 – Климаторфы флоры парка Никольская Роща

Полученные распределения являются классическими для парковых экосистем так, как деревья образуют разреженные лесопокрываемые территории (достаточно освещенные территории с минимальной сомкнутостью крон). Это дает возможность для существования и распространения других типов растительных сообществ (кустарничковых и опушечно-луговых). Анализ климаторфов показал, что на территории преимущественно располагаются виды, которые легко переживают холодные и снежные зимы, а также жаркое лето. Они приспособлены для перенесения неблагоприятных периодов.

Для оценки ценотического разнообразия изученных лесных сообществ бора в степи важную роль играют соотношения ценоморф (рисунок 8).

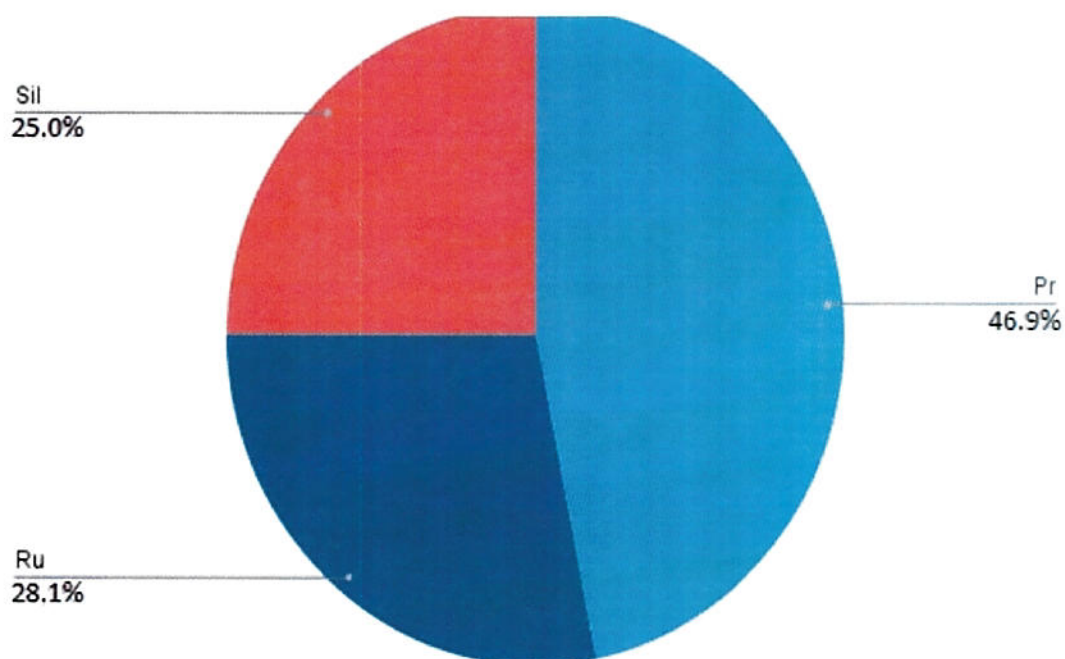


Рисунок 8 – Ценоморфы флоры парка Никольская Роща

Во флоре исследованного бора преобладают луговые (Pr) и в равном соотношении лесные (Sil) и сорные виды (Ru). Это типичные показатели для парковой растительности к фитоценозу в целом.

Соотношение трофоморф указывает на преобладание мезофитов, обитающих на почвах среднего плодородия (MsTr). Также присутствуют виды, тяготеющие почвам с большим содержанием гумуса за счет накопления органического вещества в нижнем ярусе леса. (рисунок 9).

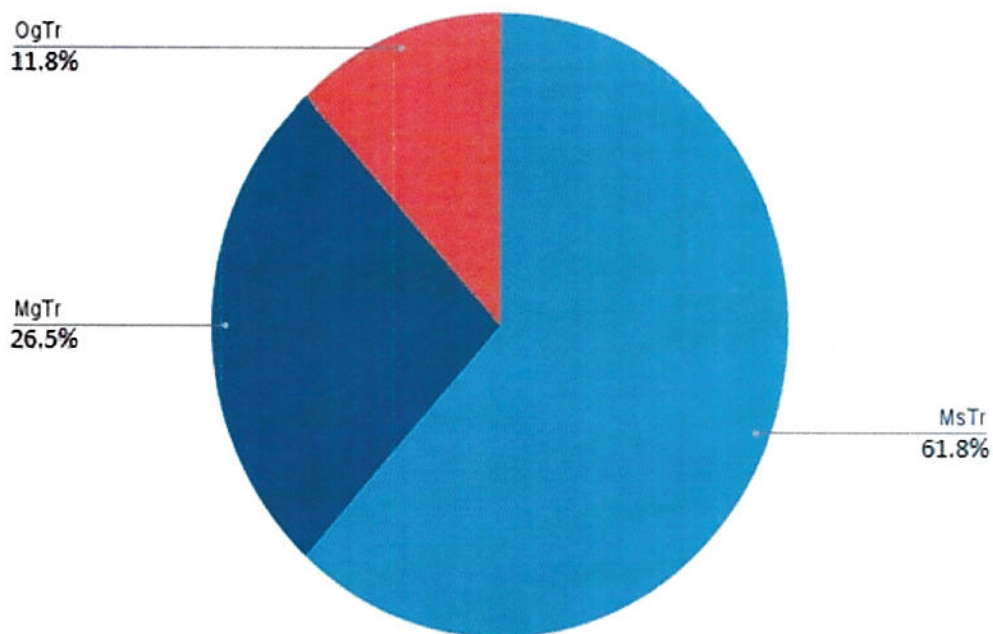


Рисунок 9 – Трофоморфы флоры парка Никольская Роща

Соотношение гигроформф указывает на преобладание промежуточных видов к условиям увлажнения. Почвы достаточно увлажнены и дают возможность развитию и существованию мезофитов. Ксерофиты в таких условиях тоже могут развиваться, так как являются засухоустойчивыми видами и могут приспосабливаться и к влажным почвам, и к засухам (рисунок 10).

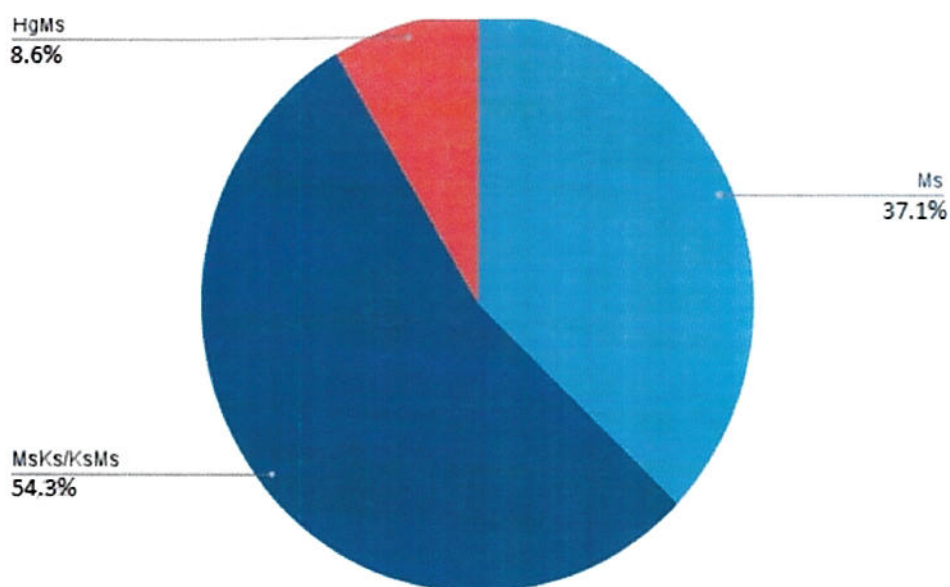


Рисунок 10 – Гигроморфы флоры парка Никольская Роща



Оценка разнообразия фитолимата биотопов парка была вы полнена в ходе оценки соотношения видов флоры по режимам освещенности (гелиоморфы) (рисунок 11) и термолимата (термоморфы) (рисунок 12).

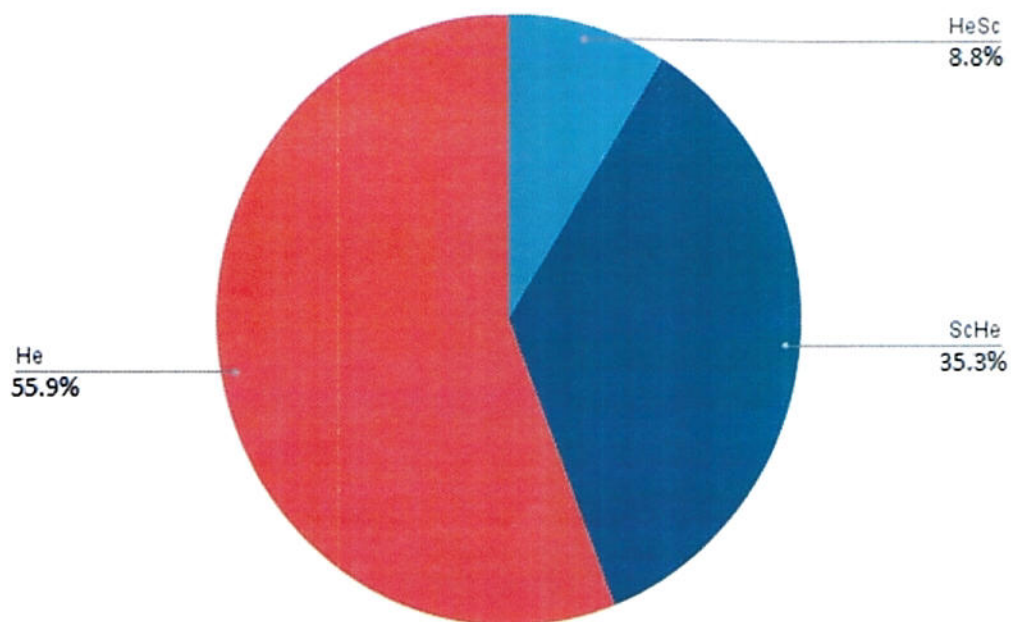


Рисунок 11 – Гелиоморфы флоры парка Никольская Роша

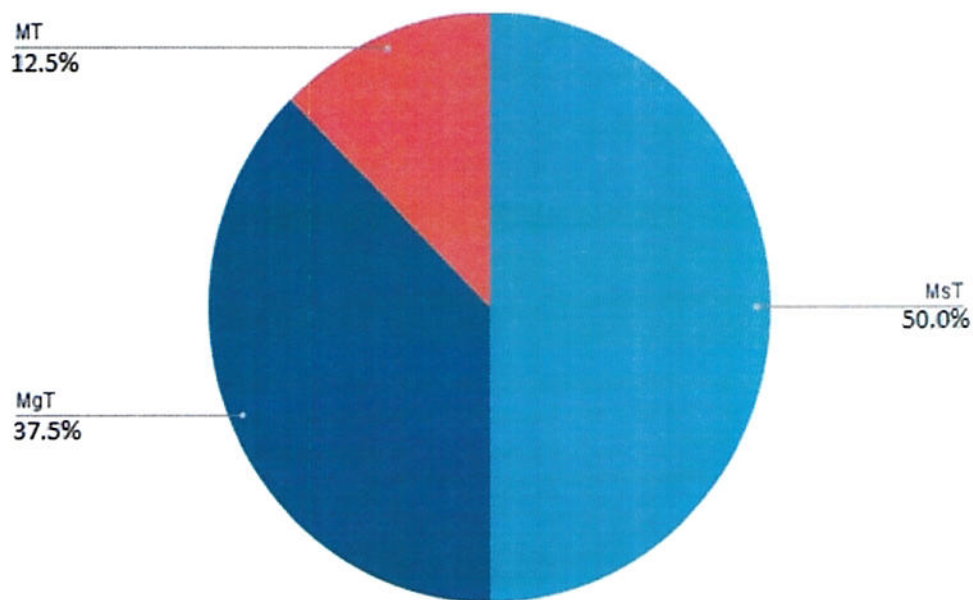


Рисунок 12 – Термоморфы флоры парка Никольская Роша

При анализе диаграмм была выявлена зависимость светового режима от поступающего теплового режима. Большинство светолюбивых (He) и

световыносливых (ScHe) относятся к теплолюбивым (MsT) и жаростойким (MgT) видам. Большая часть видов флоры приспособлена к изменчивым условиям освещенности.

Для оценки распространения почв были созданы и проанализированы картограммы.

Они были построены с использованием метода пространственной интерполяции (IDW) в ГИС-пакете QGIS.

В результате анализа полученных карт можно для территории парка определить почвенные разновидности по характеру ведущих эдафических факторов.

По условиям увлажнения выделяются два типа режима промачивания почв (рисунок 13):

1) свежий лесолуговой режим с полным промачиванием корнеобитаемого слоя почвы. На карте он отмечен красным цветом. Сопутствующим сообществом является липо-сосняк луговомятликовый;

2) влажноватый лесолуговой с временным избыточным промачиванием корнеобитаемого слоя почвы. На карте он показан зеленым цветом. Сопутствующим сообществом является липняк крапивный.

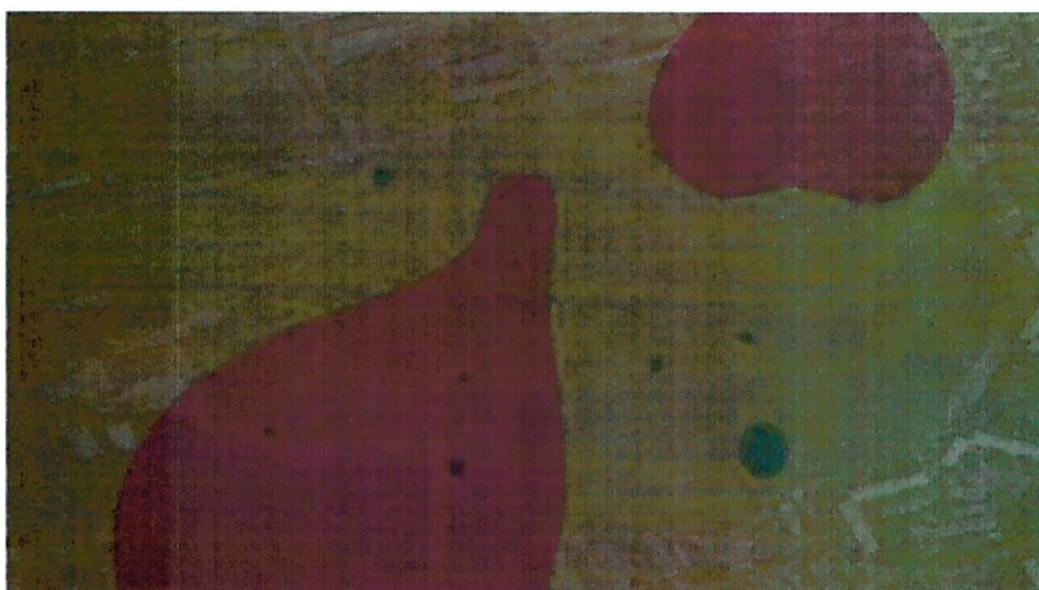


Рисунок 13 – Картограмма режима почвенного увлажнения парка Никольская Роща

По условиям кислотности выделяются два типа режима почв (рисунок14):

1) слабокислые. На карте распределяются в восточной стороне парка, отмечены светлым цветом. Минимальные показатели- красные области. Сопутствующим сообществом являются липо-сосняк рябиново-земляничный;

2) нейтральные. На карте распределяются в западной части, отмечены зеленым цветом. Максимальные показатели- синие области. Сопутствующим сообществом является липняк крапивный.



Рисунок 14 – Картограмма режима кислотности почв парка Никольская Роща

По условиям солевого режима выделяются два типа (рисунок15):

1) обогащенные солями. На карте распределяются в основном в западной части парка, зона отмечена синим цветом;

2) богатые солями. На карте распределяются в восточной части парка, отмечены красным цветом. Сопутствующим сообществом является сосняк волосистоосоковый.



Рисунок 15 – Картограмма солевого режима почв парка Никольская Роща

По содержанию карбонатов можно выделить два типа (рисунок 16)

1) незначительное содержание карбонатов. На карте распределяются в западной части парка, отмечены светлым цветом. Минимальные показатели карбонатов отмечены оранжевыми областями. Сопутствующими сообществами является липо-сосняк рябиново-земляничный;

2) обогащенная карбонатами. На карте распределяются в восточной части парка, отмечены зеленым цветом.

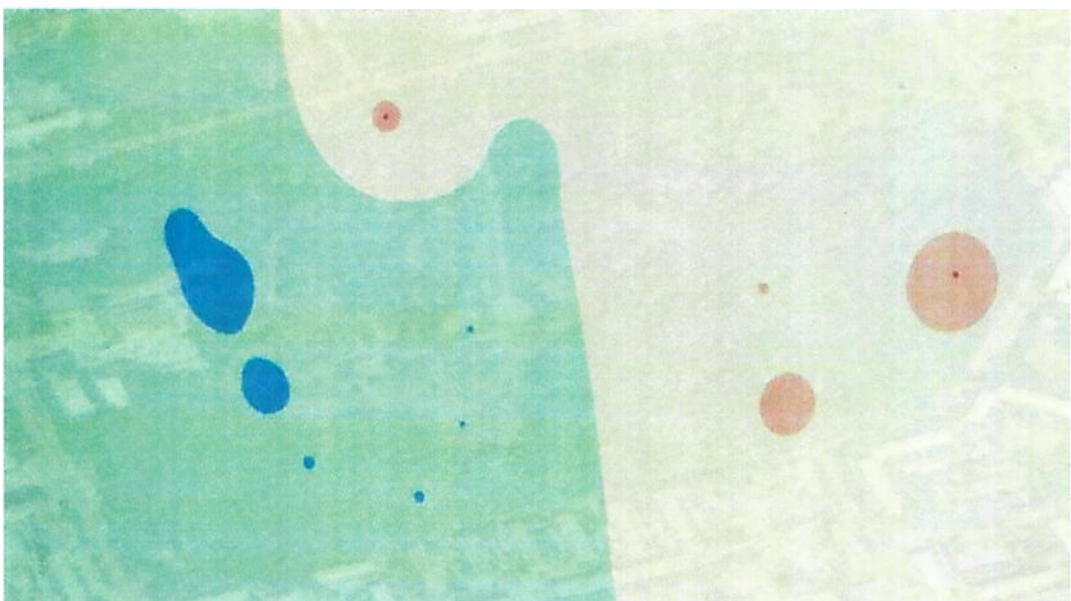


Рисунок 16 – Картограмма режима содержания в почве карбонатов парка Никольская Роща

По условиям аэрации выделяются два основных типа (рисунок 17):

1) умеренно аэрированная зона. Располагаются в восточной части парка, отмечены красным цветом. Сопутствующим сообществом является липо-сосняк луговомятликовый;

2) значительно аэрированная зона. Располагается в западной части парка, отмечена зеленым цветом. Сопутствующим сообществом является.

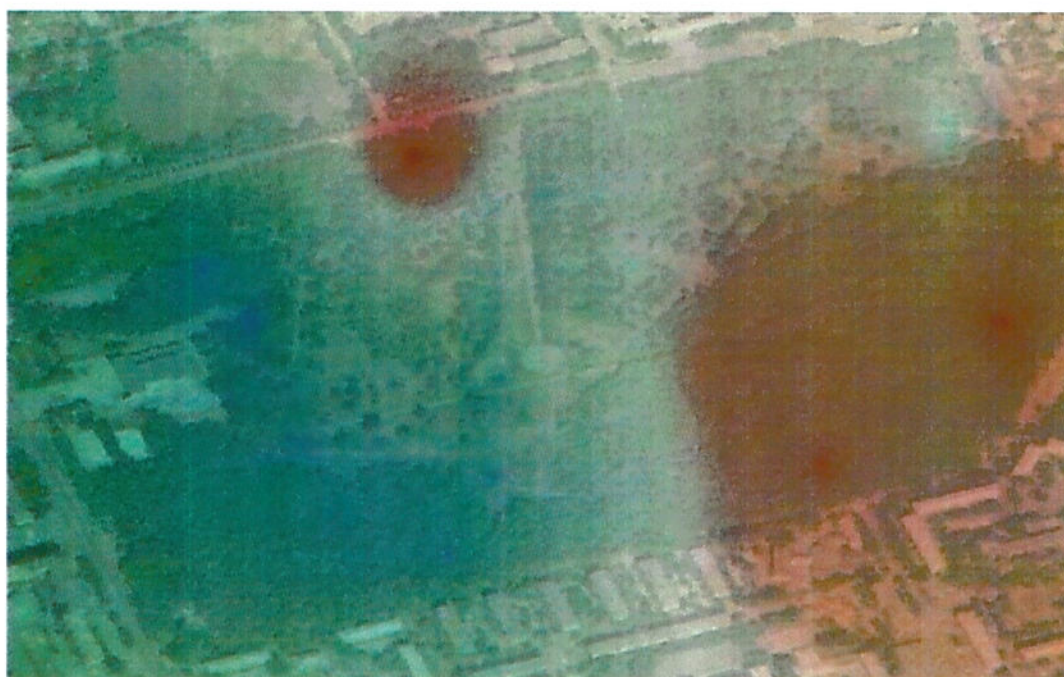


Рисунок 17 – Картограмма режима почвенной аэрации парка Никольская  
Роца

Таким образом, были проведены описания полученных карт с выделением зональности распределения почв с разными условиями увлажнения, кислотности, солевого, карбонатного режимов и условиям аэрации. Также были выделены сопутствующие парковые сообщества, характерные для парковой растительности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено геоботаническое обследование территорий ЦПКиО и Никольской рощи. Заложено 20 пробных площадей в Центральном Парке Культуры и Отдыха имени Гагарина и 15 в Парке Никольская роща. На пробных площадях выполнены геоботанические описания, которые были занесены в специальную базу данных Microsoft Excel.

Рассчитаны индексы фиторазнообразия растительности парков: Индекс Шеннона, Индекс выравненности (Индекс Пилу) и Индекс Симпсона. Индексы фиторазнообразия показывают, что парковая растительность характеризуется достаточно низкими показателями биоразнообразия, что требует дополнительного введения в состав парков, в первую очередь, кустарниковой растительности, травянистых сообществ и по возможности древесных пород второго яруса для поддержания устойчивости этих сообществ.

Проведена комплексная оценка биотопов парков методом фитоиндикации. Определены режимы ведущих экологических факторов, прежде всего, почвенные факторы. На основе рассчитанных фитоиндикационных индексов построены картограммы распределения почвенных условий для территории парка Никольская роща. Полученные картограммы позволят высадку древесных и кустарниковых пород, соответствующим имеющимся почвенным условиям. Это улучшит ассортимент древесно-кустарниковых пород и повысит устойчивость парковой растительности.

Выполнена экологическая паспортизация флоры парковой растительности. Показано, что флора парков состоит в первую очередь из мезофитных и мезо-ксерофильных элементов большинство из которых являются мезотрофами. Данная паспортизация позволит оптимизировать подбор древесно-кустарниковых пород и декоративно-травянистой растительности наиболее соответствующим существующим условиям

биотопов что приведет к повышению устойчивости парковой растительности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александрова В. Д. Классификация растительности: обзор принципов классификации и классификационных систем в разных геоботанических школах / В. Д. Александрова. Ленинград : Наука, 1969. – 274 с.
2. Алехин В. В. География растений с основами ботаники / В. В. Алехин, В. С. Говорухин, Л. В. Кудряшов. – Москва : Учпедгиз, 1961. – 532 с.
3. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов / пер. с англ. под ред. А. Н. Гельфана, Н. М. Новиковой, М. Б. Шадринной. – Москва : РАСХН, 1999. – 306 с.
4. Андреев В. Л. Классификационные построения в экологии и систематике / В. Л. Андреев – Москва : Наука, 1980. – 142 с.
5. Апаля-Шидлине Дз. Об индикаторных биоэкогруппах / Дз. Апаля-Шидлине // Теоретические вопросы фитоиндикации: Сборник статей / отв. ред. А. А. Корчагин. – Ленинград : Наука, 1971. – С. 37–43.
6. Булохов А. Д. Экологическая оценка среды обитания методами фитоиндикации / А. Д. Булохов. – Брянск : изд-во БГПУ, 1996. – 104 с.
7. Заугольнова Л. Б. Иерархический подход к анализу лесной растительности малого речного бассейна (на примере Приокско-Террасного заповедника) / Л. Б. Заугольнова // Ботанический журнал. – 1999. – Т. 84. № 8. – С. 42–56.
8. Казанская Н. С. Опыт применения экологических шкал Л. Г. Раменского при количественном изучении динамики растительности / Н. С. Казанская, В. Д. Утехин // Ботанический журнал. – 1971. – Т. 56. – № 8. – С. 1135–1140.
9. Методы изучения лесных сообществ. / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков (и др). – Санкт-Петербург : НИИ Химии СПбГУ, 2002. – 240 с. – ISBN – 5-7997-0452-5.



10. Ниценко А. А. Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты геоботанического исследования. Сущность, свойства и методы выявления / А. А. Ниценко. – Ленинград : Наука, 1971. – 184 с.
11. Работнов Т. А. О применении экологических шкал для индикации эдафических условий произрастания растений / Т. А. Работнов // Журнал общей биологии. – 1979. – Т. 40. № 1. – С. 35–42.
12. Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – Москва : Сельхозгиз, 1938. – 620 с.
13. Терентьев П. В. Метод корреляционных плеяд / П. В. Терентьев // Вестник Ленинградского государственного университета. – 1959. – № 9. – С. 137–141.
14. Тихомиров В. Н. Методы анализа биологического разнообразия / В. Н. Тихомиров. – Минск : БГУ, 2009. – 87 с.
15. Ханина Л. Г. Новый метод анализа лесной растительности с использованием многомерной статистики (на примере заповедника Калужские засеки) / Л. Г. Ханина, В. Э. Смирнов, М. В. Бобровский // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 2002. – Т. 107, Вып. 1. – С. 40–47.
16. Didukh Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. – Kyiv : Phytosociocentre, 2011. – 176 p.
17. Legendre L. Numerical ecology / L. Legendre, P. Legendre. – Amsterdam : Elsevier Science B. V., 1998. – 853 p.
18. McCune B. Analysis of Ecological Communities / B. McCune, J. B. Grace // MjM SoftWare Design. – 2002. – 300 p.
19. Persson S. Ecological indicator values as an aid in the interpretation of ordination diagrams / S. Persson // Journal of Ecology. – 1981. – Vol. 69, № 1. – P. 71–84.