



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЧГПУ»)**

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ

**КАФЕДРА БОТАНИКИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ
БИОЛОГИИ**

**ФИТОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ БИОТОПОВ ГОРОДСКИХ
ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПАРКА ГОРОДА КОРКИНО)**

**Выпускная квалификационная работа
по направлению 05.03.06 Экология и природопользование
Профиль программы бакалавриата
«Природопользование»**

Работа _____ к защите
рекомендована/не рекомендована

« ____ » _____ 2016 г.

зав. кафедрой ботаники, экологии и мето-
дики обучения биологии

к. п. н., доцент ЧГПУ Уфимцева Г.А.

Выполнила:
студентка группы ОФ-401/058-4-1
Степанова Анастасия Сергеевна

Научный руководитель:
д. б. н., профессор ЧГПУ
Назаренко Назар Николаевич

Челябинск

2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Фитоиндикация экологических условий – теоретические основы.....	6
1.1. Природоохранная фитоиндикация и ее уровни.....	6
1.2. Методы фитоиндикации.....	12
Глава 2. Характеристика объекта и методика исследований.....	22
2.1. Метод экологического картографирования как пространственного отображения фитоиндикации.....	22
2.2. Объект и статистические методы исследования.....	29
Глава 3. Фитоиндикационные методы в исследовании биотопов.....	38
3.1. Выделение индикаторных факторов групп методом главных компонент.....	39
3.2. Выделение индикаторных факторов групп методом кластерного анализа.....	40
3.3. Выделение индикаторных факторов групп методом корреляционных плеяд.....	42
3.4. Сравнительная оценка использования методов фитоиндикации.....	45
Заключение	47
Библиографический список.....	50
Приложения.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Проблема сохранения окружающей среды в настоящее время концентрирует на себе внимание исследователей всего мира. В связи с усилением антропогенной нагрузки, испытываемой природными комплексами, становится необходимой разработка и апробация методик, позволяющих оценивать экологическое состояние природно–антропогенных сред. Поэтому проблема развития различных мониторинговых подходов в системе экологического контроля и управления качеством окружающей среды сегодня наиболее актуальна.

К сожалению, не всегда есть возможность проводить комплексные научные исследования, требующие больших материальных затрат и специального оборудования. В таких случаях можно использовать методы биоиндикации, биомониторинга, получивших в последнее время широкое признание и распространённость. Важным представляется не только оценка биоразнообразия и устойчивости природных биоценозов, но и привлечение внимания органов власти к данной проблеме, что особенно актуально в перспективе дальнейшего ухудшения экологической обстановки в мире.

Метод биоиндикации основан на избирательном биологическом накоплении веществ из окружающей среды организмами растений и животных. Наиболее опасными для биотических сообществ являются антропогенные загрязнения почвы и вод тяжелыми металлами, радионуклидами, некоторыми хлорорганическими производными, так как вызывают в живых организмах отклик в виде накопления этих веществ, как всем организмом, так и его отдельными частями.

Коэффициенты накопления зависят от многих факторов: морфологических и физиологических особенностей организмов, физико-химических свойств накапливаемых веществ. Многообразие видов, их высокая избира-

тельность к веществам различного строения и состава делает метод биоиндикации весьма перспективным для мониторинга вод и почв урбанизированных зон, а в ряде случаев и для очистки экосистем от загрязняющих веществ некоторыми видами растений и микроорганизмов.

Растительный покров наиболее доступный для наблюдения и реагирующий на все изменения внешней среды, имеет наибольшее значение из всех компонентов экосистемы. Использование растительного покрова как индикатора условий окружающей среды выделяют в особое направление биоиндикационных исследований, которое называют фитоиндикацией.

Городские насаждения являются обязательным составляющим современной, культурной урбосреды и испытывают на себе повышенное антропогенное воздействие. В связи с этим необходимо отслеживать состояние насаждений и окружающей среды. Методы фитоиндикации сочетают мониторинг насаждений и выявление реакции растений на различные загрязнители с отслеживанием экологической обстановки. Фитомониторинг в отличие от точечных инструментальных методов позволяет оценивать влияние загрязнителей на сообщества, и давать представление о длительном воздействии загрязнителей, и прогнозировать их дальнейшее влияние. Фитомониторинг необходим для объективной оценки экологической ситуации городской среды.

Актуальность работы заключается в выполнении экспресс-оценки биотопов максимально быстро без специальных инструментальных исследований.

Цель работы: анализ использования методов фитоиндикации для оценки биотопов на примере городского парка г. Коркино.

Задачи исследования:

1. Описать растительность парка г. Коркино.
2. Оценить возможность использования фитоиндикации на различных уровнях организации биоты.

3. Построить карта-схемы парка и распределения индикаторных сообществ по различным методам фитоиндикации.

4. Дать оценку возможности использования фитоиндикационных методов для оценки биотопов искусственных рекреационных экосистем.

5. Провести сравнительный анализ методов фитоиндикации.

Предмет исследования: методика фитоиндикационной оценки биотопов.

Объект исследования: биотопы Челябинской области.

Используемые методы:

- методы для выделения индикаторных сообществ;
- индикационные методы;
- методы статистической обработки данных.

Результаты работ были апробированы на IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы географии Урала и сопредельных территорий» (Челябинск, 19-21 мая 2016 г.)

ГЛАВА 1. ФИТОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ – ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. Природоохранная фитоиндикация и ее уровни

Все биологические системы в ходе своего развития приспособились к комплексу факторов местообитания. Метод оценки абиотических и биотических факторов местообитания при помощи биологических систем называют биоиндикацией (от лат. *indicator* - указатель). В соответствии с этим, организмы или сообщества, которые тесно связаны с определенными факторами среды, могут применяться для их оценки, называют биоиндикаторами. Международная программа "Биоиндикаторы" делит их на шесть групп в соответствии с шестью биологическими дисциплинами: микробиологические, ботанические, зоологические, генетические, физиологические и гидробиологические. [4]

Растительный покров наиболее доступный для наблюдения и реагирующий на все изменения внешней среды, имеет наибольшее значение из всех компонентов экосистемы. Использование растительного покрова как индикатора условий окружающей среды выделяют в особое направление биоиндикационных исследований, которое называют фитоиндикацией.

Важную роль в использовании растительного покрова как индикатора условий среды имели работы А. Гумбольдта, А. Декандоля, А. Гризебаха и других ботаников-географов, показавших глубокую связь растительного покрова со средой. [5]

Е. Варминг дал теоретическое обоснование растительного покрова как индикатора условий среды. Ранее, В.В. Докучаев создал учение о всеобщей взаимосвязи явлений и процессов на земной поверхности. [6]

Использование растительного покрова как индикатора условий среды С.В. Викторов выделяет в особое направление геоботаники и называет его "индикационной геоботаникой". Б.В. Виноградов применяет другой термин - "учение о растительных индикаторах". А. А. Корчагин это направление индикационных исследований предложил назвать "фитоиндикацией". [12, 13]

Фитоиндикация - это практическое применение различных признаков и свойств отдельных растений или растительных сообществ и их комплексов для получения качественной, а иногда и количественной, характеристики среды. Например, влажности и кислотности почвы, ее обеспеченности биогенными элементами и т.д. При фитоиндикации используют внешний облик растения, его внутреннее строение, биохимический состав и физиологические процессы. При фитоиндикации среды используют флористический состав растительных сообществ, их структуру и методы геоботаники. [11]

Основными понятиями фитоиндикации являются "индикат" и "индикатор". Индикатами, или объектами индикации, могут быть различные природные тела (горные породы, полезные ископаемые, почва, содержание гумуса и биогенных элементов в почве, состояние атмосферы, вода и др.). Показатели, которые при этом используются, называются индикаторами.

С.В. Викторов и А.Г. Чекишев выделяют частные и комплексные индикаторы. К частным относят ботанические (таксономические единицы различных рангов), геоботанические (растительные сообщества и их разнообразные комплексы и комбинации), флористические, геоморфологические (отдельные формы нано-, микро-, мезо-, и макрорельефа и др.), гидрологические (внешние особенности элементов гидросети), почвенные, антропогенные и др., а комплексными индикаторами называют сочетания частных индикаторов, отражающих внешние особенности ландшафтов. [12]

Индикаторы делятся на две группы: экзоиндикаторы (видимые) и эндоиндикаторы (скрытые). Экзоиндикаторы широко используются в ландшафтной индикации. Эктоярус - внешний облик ландшафта, представляет собой сочетание физиономических компонентов, где наибольшее значение имеет рельеф и растительность. Г. Никольс ввел понятие об "элементарных физиономических единицах ландшафта", понимая под ними "сочетание растительного сообщества и формы рельефа", к которой это сообщество приурочено. Позднее С. В. Викторов сформулировал понятие о "физиономическом элементе", под которым понимал участки местности, различающиеся по размеру, форме, окраске и другим внешним признакам. Например, эктоярусы, благодаря своей хорошей видимости на космических и аэрофотоснимках, очень широко применяются в настоящее время для индикации. [7, 11]

Индикаторы по характеру связи с индикатами разделяют на прямые и косвенные. К прямым относят те, которые имеют непосредственную связь с индикатами, а косвенными, которые связаны с индикатами через промежуточное звено. Например, косвенным индикатором могут служить в песчаных пустынях фитоценозы с доминированием фреатофитов, присутствий которых возможно только, когда их корневая система связана с грунтовыми водами. Они являются прямыми индикаторами грунтовых вод, а растения, указывающими на благоприятные условия аэрации песков и фильтрации в них осадков, — лишь косвенными, так как позволяют предполагать возможность формирования под песками линз грунтовых вод. [5]

Индикаторы по степени своей связи с индикатами разделяют на панареальные, региональные и локальные. Панареальные сохраняют свою индикаторную ценность и тесную связь с индикатом на всей территории, в пределах которой они встречаются, т.е. в пределах всего ареала вида или сообщества. Региональные индикаторы сохраняет свое значение лишь в пределах одной или нескольких оболочек со сходными физико-географическими условиями. Локальные индикаторы сохраняют устойчи-

вую связь с индикатами только в узком физико-географическом районе. Географическая изменчивость индикаторов имеет большое значение и при экстраполяции. Экстраполяция индикационных закономерностей является важнейшей проблемой в практике индикации, так как проведение специальных исследований в каждом физико-географическом регионе по выявлению индикаторов и индикатов стоит слишком дорого. [14]

Фитоиндикация осуществляется на разных уровнях организации растительных систем: макромолекул, клеток, органов, организмов, популяций, растительных сообществ и их комплексов или территориальных сочетаний. Из всех уровней фитоиндикации наиболее глубоко изучены флористические и геоботанические индикаторы, как наиболее доступные для наблюдения, очень пластичные и чутко реагирующие на изменения среды.

Клементс указывал, что каждое растение или сообщество "представляет лучшую меру условий, в которых оно произрастает". [15]

А. Карпинский, рассматривая вопрос о растениях как указателях горных пород, на которых они встречаются, отмечал, что для этих целей надо использовать совокупность растений определенной территории. Л.Г. Раменский подчеркивал необходимость учитывать показания не 2-3 доминирующих видов растений, а использовать свидетельства всех или большинства видов сообщества, которые дополняют друг друга, как своего рода равнодействующую их показаний. Этот подход поддерживал и В.Н. Сукачев: "Если каждое растение тесно связано со средой и не может рассматриваться вне ее, то связь фитоценоза со средой еще более тесная. Поэтому, если растение часто может служить хорошим примером условий место произрастания, то фитоценоз в целом является более чувствительным реагентом на среду". Необходимость применения для индикационных целей не отдельных растений, а растительных сообществ неоднократно отмечалось С.В. Викторовым и Б.В. Виноградовым. [11, 13, 25]

По нахождению небольшого числа особей вида трудно и невозможно дать удовлетворительный прогноз об экологических условиях, т.к. единич-

ные экземпляры могут быть не типичными для данного местообитания, случайно занесенными. В отличие от отдельных видов, растительные сообщества длительно формируются на экологически определенных местообитаниях, связь с которыми достаточно устойчива. [18]

Проблема взаимосвязи растительности и среды выделяют два подхода. Первый - выявление механизмов взаимодействия между растительностью и средой. Основан на процессах поглощения вещества и энергии и преобразования окружающей среды. Второй - установление связи между ними. Направлен на установление соответствия и несоответствия между растительностью и средой, выявление признаков соответствия растительности и среды. Сюда входят задачи фитоиндикации - прогнозирование условий местообитаний растительных сообществ и отдельных факторов среды по растительности. [37]

Например, ольховые группировки служат косвенным индикатором месторождения алмазов, а в лесах Общего Сырта встречаются безлесные поляны, т.к. на таких полянах явилось скопление охристой руды, залегающей на глубине 30-40 см. [4]

Важное значение на сегодняшний день имеют проблемы охраны окружающей среды. Существует ряд природоохранных индикационных направлений, выявляющих воздействие антропогенного загрязнения токсическими веществами окружающей природной среды.

В природоохранной индикации широко используют понятие "стресс". Под стрессом понимают реакцию биологической системы на экстремальные факторы среды, которые по-разному могут влиять на систему. Такие факторы называют стрессорами. [6]

Среди стрессоров могут быть различные абиотические факторы, химические вещества, ионизирующее излучение и др. Действие большинства стрессоров можно установить, используя соответствующие приборы и анализы. Измерение интенсивности действия стрессоров на организм тре-

бует больших затрат, к тому же очень часто исследователя интересует действие не одного, а группы стрессоров. [19]

На низших уровнях организации растительных систем (макромолекул, клеток, органов) преобладают прямые и специфические виды индикации, связанные с воздействием определенного стрессора. На более высоком уровне организации биосистем господствует косвенная индикация. Фитоиндикация на клеточном и субклеточном уровне позволяет распознавать нарушения, которые часто являются решающими. Воздействие стрессора чаще всего скрыто от наблюдателя, но его можно легко измерить с помощью биохимических и физиологических методов.

Кроме биохимических и физиологических реакций используют различного рода анатомические, морфологические, фиторитмические отклонения. Уже в 1850 году было замечено, что вокруг содовых фабрик (Бельгия, Англия) ель повреждается от дыма. Дальнейшие наблюдения за морфологическими изменениями у организмов позволили выявить группы морфологических индикаторов, которые широко используются для системы мониторинга. К числу морфологических (макроскопических) изменений, используемых при индикации, относят изменение окраски листьев: хлорозы - пожелтение, побурение, покраснение; некрозы - отмирание ограничении частей растения; дефолиацию - опадание листвы. [5]

Изменения форм роста и ветвления также являются морфологическими индикаторами. Кустовидная форма роста у липы возникает при устойчивом загрязнении атмосферы диоксидом серы или парами хлористого водорода, изменение кроны у сосны - при задымлении.

Стрессоры вызывают изменения флористического состава в фитоценозах. Под их действием изменяются количественные отношения между видами, структура фитоценоза. Например, наиболее сильные воздействия человека на луга оказывают сенокосения в одни и те же сроки и интенсивный бессистемный выпас скота. При выпасе животных происходит

угнетение поедаемых растений, повреждение и затаптывание, механическое воздействие животных на почву.

1.2. Методы фитоиндикации

Методы фитоиндикации выполняются в полевых или лабораторных условиях. Основными являются: метод эталонов и метод экологических профилей. К числу методов, используемых в фитоиндикации относят также статистические методы, методы экологических групп и метод экологических шкал.

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. [4]

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. Второй путь необходим 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 м², для лесных - 400-2000 м².

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, 8, 32]

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

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. [4]

Существует несколько способов определения ключевых участков. Наиболее эффективным способом является выделение ключевого участка путем дешифрирования аэрофотоснимков. Первым этапом, производится предварительное камеральное дешифрирование. Исследователь просмат-

ривает 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. [16]

На ключевых участках производятся геоботанические описания. Пробными площадями должен характеризоваться каждый фитоценоз, находящийся на ключевом участке. Возле пробной площадки составляется почвенный разрез. Кроме пробных площадей описывается профиль, который прокладывается вкрест 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 участки 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 (экотонов). В конечном счете на профиле отображаются рельеф (в определенном масштабе), растительность (обычно внемасштабными 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. [4]

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 индикатору. 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.

Статистические методы в фитоиндикации

В 60-е годы 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). [23]

Для оценки достоверности индикатора С.В. Викторов и др. предложил эвристический показатель: $B_1 = \frac{a}{(N-a)}$, который используется совмест-

но с показателем значимости индикатора $B_2 = a - N$, где a – число площадок совместного присутствия объекта индикации и индикатора; N – общее число площадок. Более объективные результаты получают при использовании коэффициентов сопряженности индикаторов и объектов индикации. [10, 11]

Г.С. Розенберг разработал строгий подход к оценке среды по растительности с использованием распознавания образов с помощью ЭВМ. Распознавание образа ведется с помощью правила близости. [20]

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. Многократные 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. В качестве примера можно рассмотреть метод Хилла. Он состоит в следующем: первоначально проводят ординацию видов или фитоценозов вдоль осей различных факторов среды,

определяющих характер их варьирования. Затем ось ординации делится на две части, если количество видов в каждой части есть M_1 и M_2 , а число описаний, в которых встречен вид i , соответствует m_1 и m_2 , то индикаторное значение этого вида определяется из выражения: $I = \left(\frac{m_{1i}}{M_1}\right) - \left(\frac{m_{2i}}{M_2}\right)$, и информированность оцениваемой оси тем выше, чем ближе величина $I = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N}\right)$ к единице (N — общее число видов). [21]

Можно пользоваться методом В. И. Василевича, который является обобщением метода Хилла. [10]

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

$$\eta^2 = \frac{C_x}{C_y}, \text{ где } C_y - \text{общее варьирование признака, вызванное всеми}$$

действующими на растение факторами; C_x - факториальное варьирование. Теснота связи эта-квадрат – η^2 . Пределы значений η^2 - 0 и 1.

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.

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” бы-

ло 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. [5, 9]

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.

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.

Существует три основных метода установления экологических и эколого-фитоценологических 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. [5]

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. [7]

В качестве примера можно привести экологические группы лесной и луговой растительности, которые являются индикаторами различных поч-

венных факторов. Состав экологических групп лесной растительности дан по А. Скамони, которые были установленные для Германии.

Mercurialis — группа на почвах с хорошо развитым гумусовым горизонтом с зернистой структурой, богатых карбонатами, рН слабощелочная до нейтральной. *Myrlillus* - группа, виды в основном на сильноокислых почвах с грубым гумусом. *Охуссус* — группа на очень кислых торфяных почвах. [32]

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 (порядок *Galietalia vert*) с сухими, слабокислыми, умеренно обеспеченными азотом почвами. *Nardus stricta* — группа с синэкологическим оптимумом на пустошных суходольных лугах (порядок *Nardetalia*) с кислыми и бедными азотом почвами.

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. [26, 36]

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 В. Вирта особый интерес представляет шкала токистолерантности, используя которую можно определять степень загрязненности воздуха. [29, 30]

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. [27]

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.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Метод экологического картографирования как 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 измерении;
- 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. [3]

Натурные наблюдения и измерения

Эти данные — важнейший фактический материал для составления любых тематических карт. Без них невозможны использование теоретических закономерностей, интерпретация косвенных наблюдений, дешифрирование аэро- и космо снимков.

Форма представления данных натуральных наблюдений различна. При гидрографических наблюдениях это результаты измерений, которые заносят в журналы и таблицы, при физико-географических исследованиях — описания, фиксируемые в дневниках и отчетах, фотографии и схемы, при

геолого-геоморфологических исследованиях — профили, разрезы, данные бурения скважин, описания шурфов и т.п., при геофизической съемке наблюдаемых физических параметров.

По локализации данные непосредственных наблюдений подразделяют на точечные, выполненные в отдельных пунктах, на скважинах, в обнажениях и т.п., маршрутные – вдоль по избранному направлению (по профилю охватывающие всю изучаемую территорию. Особо выделяют стационарные наблюдения, например, на геофизических полигонах, биостанциях, в пунктах экологического мониторинга и т.п. Стационары располагают в характерных местах, причем наблюдения всегда отличаются длительностью, стационары существуют десятки лет.

Кроме того, существуют материалы ключевых исследований, которые выполняют с высокой детальностью в крупном масштабе на небольших участках от одного до нескольких квадратных километров. Ключевые исследования необходимы в тех случаях, когда картографируемая территория обширна и нет возможности охватить ее целиком. Тогда изучают ключевые, эталонные участки, типичные в том или ином отношении, а выявленные на них закономерности распространяют на обширные однотипные территории.

С развитием дистанционного зондирования исследования на «ключках» стали применять для интерпретации аэрокосмических материалов. Выделился даже особый тип источников: данные подспутниковых наблюдений. Их стараются вести синхронно или почти синхронно с космической съемкой для точной привязки, интерпретации космической информации и распространения ее на обширные пространства со сходными условиями. По существу, подспутниковые наблюдения — это традиционное географическое исследование на ключевых участках. [28]

Дистанционное зондирование природных объектов базируется на использовании электромагнитных излучений, исходящих от предмета исследования.

Дистанционные методы исследования подразделяются на пассивные, т.е. основанные на улавливании излучений от естественных источников (Солнца, Луны, звезд, земной поверхности и самих изучаемых объектов), и активные, т.е. предполагающие использование искусственных источников излучения (ламп накаливания, газоразрядных ламп, лазеров).

Наибольшее применение среди пассивных дистанционных методов получили исследования в оптической области электромагнитного спектра (фотографирование), в том числе в разных диапазонах. Получаемые фотографические материалы доступны для непосредственного зрительного восприятия и анализа с помощью всего арсенала средств, разработанных в рамках картографического метода исследования. Космические и аэрофотоснимки обеспечивают территориально полное и непрерывное изучение больших площадей, состояние которых зафиксировано на единый момент времени. Это наиболее эффективно при работах, связанных с проблемами охраны земельных, водных и растительных ресурсов (состояние лесов, пастбищ и пахотных угодий; эрозия; засоление; заболачивание).

Возможности решения задач на основе космо- и аэрофотоснимков для разных территорий неравнозначны как вследствие неодинаковой обеспеченности соответствующими материалами (из-за особенностей траекторий космических аппаратов и различий в повторяемости благоприятных для съемок условий), так и ввиду зависимости возможностей дешифрирования от комплекса физико-географических факторов (облачность, растительный покров).

Высокая оперативность дистанционных методов, будучи неоценимым достоинством при решении задач мониторинга, превращается в недостаток, когда речь идет о картографировании осредненных за длительный период показателей. [31]

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. [3]

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.

Способы изображения явлений на карте

Комплексные экологические карты отличаются большой сложностью и включают значительную часть арсенала изобразительных средств тематической картографии.

Значками (в том числе структурными) изображаются источники, а также иногда объемы и структура техногенных и антропогенных воздействий (города, предприятия), а также не выражающиеся в масштабе карты уникальные природные объекты.

Линейными знаками показываются элементы географической основы, имеющие значение для характеристики экологической обстановки: гидросеть (в том числе с характеристикой качества воды), коммуникации (в том числе с характеристикой напряженности использования и/или воздействия на среду).

Качественным фоном может передаваться как характеристика ландшафтов и природопользования, так и оценки экологической обстановки. При этом на комплексных экологических картах часто используют одновременно две системы качественного фона: окраску и штриховые обозначения (рис. 1). Дополнительно, для характеристики состава экологических проблем, используются относящиеся к ландшафтным и/или административно-территориальным выделам сложные буквенные индексы.

Изолинии применяются для количественной характеристики состояния среды.

Ареалами традиционно обозначают территории распространения охраняемых видов, особо охраняемые природные территории, а также под-

дающиеся оконтуриванию области распространения отдельных видов загрязнения (запыленность снежного покрова, выпадение кислотных осадков и т.п.). Техногенная нагрузка на ландшафты или территории административно-территориальных образований количественно характеризуется с помощью картограмм и картодиаграмм.

Картограммами обычно передаются объемы выбросов, сбросов, твердых отходов, пестицидов и т.д. на единицу площади (либо в расчете на численность населения, величину стока).

Картодиаграммами — абсолютные характеристики воздействий в пределах территориальных единиц.

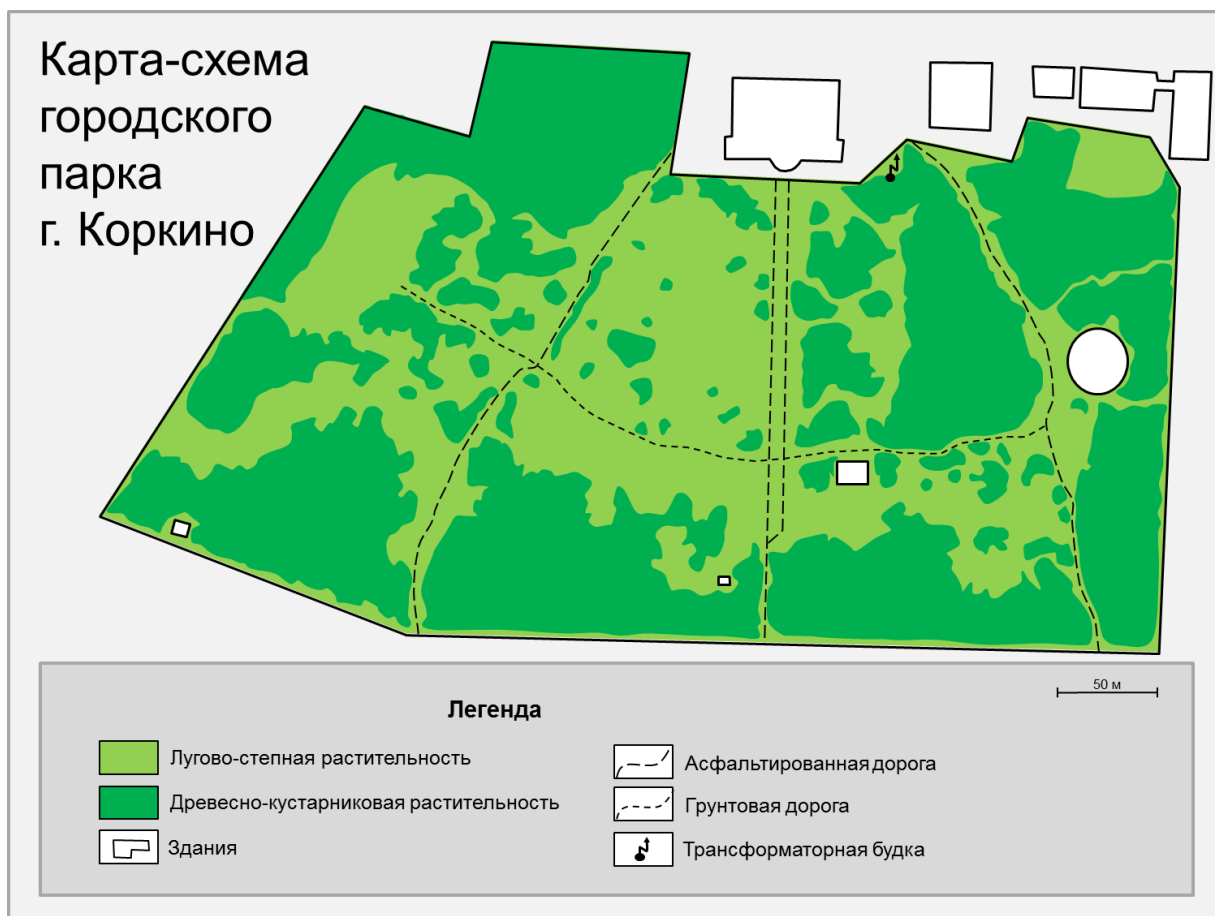


Рис. 1 Карта-схема парка г. Коркино

2.2. Объект и статистические методы исследования

Характеристика объекта

Коркинский район лежит на географической широте 54°53' и долготе 61°24'. Высота над уровнем моря – 239 м.

Город расположен на восточном склоне Южного Урала, в 42 км к югу от Челябинска, в 10 км от ж.д. станции Дубровка-Челябинская, недалеко от автомагистрали Челябинск-Магнитогорск (трасса М36).

Граничит с территорией города Копейска, Еткульского и Сосновского районов.

Территория района представляет собой всхолмленную равнину, полого понижающуюся в восточном направлении. Естественный рельеф нарушен комплексом горных работ – угольным разрезом и его огромным хозяйством: породными терриконами, полями слива пульпы, гидромойками.

Климат – резко континентальный с теплым летом и холодной, достаточно снежной зимой. Среднегодовая относительная влажность воздуха составляет 72%.

Гидрографическая сеть представлена рекой Чумляк с левым притоком рекой Каменкой и ручьем Шеино, заболоченным озером Саксан и озером Сызги. На территории имеются многочисленные бессточные водоемы с соленой и горько-соленой водой.

Преобладают выщелоченные чернозёмы и светло-серые лесные оподзоленные почвы.

Растительность представлена луговыми и разнотравно-злаковыми степями, характеризующиеся густым травостоем, который состоит в основном из злаков, чередующимися с сосновыми борами, сосново-березовыми рощами и березовыми колками. Животный мир представлен представителями лесостепной зоны.

В Коркинском районе сосредоточены такие отрасли производства как угольная, химическая и нефтехимическая, черная металлургия, целлюлозно-бумажная (ООО «Фабрика ЮжУралКартон»), машиностроение и металлообработка, производство строительных материалов. Данные отрасли наносят сильный ущерб окружающей природной среде, загрязняя воздух, воду и почву. Отдельный вклад в экологию вносит угольная промышленность, в районе воздух перенасыщен зольной пылью, летучими органическими соединениями и свинцом.

В центре города Коркино находится парк. Парк был основан в 1962 году. На сегодняшний день он является центром рекреации в условиях городской среды, а также для обеспечения условий развития физической культуры и массового спорта на территории города Коркино. Площадь парка составляет 111 тыс. м², из них 92% занято растительностью. Преобладает лугово-степная и древесно-кустарниковая растительность.

Методические основы исследования статистики при изучении растительного покрова

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. [38]

Анализ такой матрицы сводится к разбивки 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 на сколько совпадают (какое количество общих видов в описаниях), а степень близости описаний в группах определяется, исходя из рассчитанного расстояния по «координатам» видов. [35]

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. [17]

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:

1. 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;
2. «методом дальнего соседа», при котором группы формируются на основе максимальной разницы;
3. центроидный, при котором определяются опорные «центральные» координаты кластеров, вокруг которых группируются описания;
4. 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.

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. [1]

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. [2]

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. [24]

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 все-

го 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. [24]

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 учи-

тывать нулевые значения как проявления положительных взаимодействий. Выше изложенное накладывает существенные ограничения на использование метода главных компонент при ординации растительного покрова. Такими ограничениями являются:

1. наличие относительно гомогенных геоботанических описаний или небольших трансект;
2. отсутствие высокого ценотического разнообразия;
3. короткие градиенты факторов.

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

ГЛАВА 3. ФИТОИНДИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ БИОТОПОВ

Фитоиндикация антропогенных биотопов городских лесонасаждений осуществлялась на территории парка г. Коркино (Рис. 1).

Для выявления видов и растительных сообществ – индикаторов конкретных экологических факторов использовался метод эталонных участков и фитоиндикационных шкал Д.Н. Цыганова.

Было описано 20 эталонных участков размерами 10х10 метра на территории парка и определено 46 видов растительности (рис. 2).



Рис. 2 Карта-схема расположения эталонных участков на территории парка г. Коркино

Статистическая обработка данных выполнялась методами главных компонент, кластерным анализом по матрице индекса Серенсена-Чекановского с использованием бета-гибкой стратегии Ланса.

3.1. Выделение индикаторных факторов групп методом главных компонент

Ординация растительности методом главных компонент была выполнена с помощью программы Statsoft STATISTICA (Приложение 1, приложение 2).

Проанализировав полученные данные, были выявлены 3 индикаторные группы растительности (рис. 3):

1 – индикаторная группа понижения кислотности и повышения аэрации почв, представлена видами: Берёза повислая *Betula pendula* Roth, Бодяк обыкновенный *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., Василёк луговой *Centaurea jacea* L., Карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam., Клевер луговой *Trifolium pratense* L., Кульбаба осенняя *Leontodon autumnalis* L., Нивяник обыкновенный *Leucanthemum vulgare* Lam., Пастушья сумка обыкновенная *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.

2 – индикаторная группа понижения увлажнения почв, повышения переменной влажности почв, понижения аэрации почв и повышения степени освещенности, представлена видами: Адонис весенний *Adonis vernalis* L., Донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Lam., Ковыль-волосатик *Stipa capillata* L., Космея дваждыперистая *Cosmos bipinnatus* Cav., Лапчатка вильчатая *Potentilla bifurca* L., Пятилистник кустарниковый *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz, Синяк обыкновенный *Echium vulgare* L., Тополь белый *Populus alba* L., Тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L., Цикорий обыкновенный *Cichorium intybus* L.

3 – индикаторная группа понижения кислотности почвы и понижения содержания карбонатов в почве, представлена видами: Жимолость настоящая *Lonicera xylosteum* L., Жимолость татарская *Lonicera tatarica* L., Лапчатка серебристая *Potentilla argentea* L., Льянка обыкновенная *Linaria vulgaris* Mill., Сирень обыкновенная *Syringa vulgaris* L.



Рис. 3 Распределение индикаторных сообществ видов парка г. Коркино по методу главных компонент

3.2. Выделение индикаторных факторов групп методом кластерного анализа

Выделение кластеров было произведено по матрице индекса Серенсена-Чекановского с использованием бета-гибкой стратегии Ланса с помощью программы PC – ORD (рис. 4).

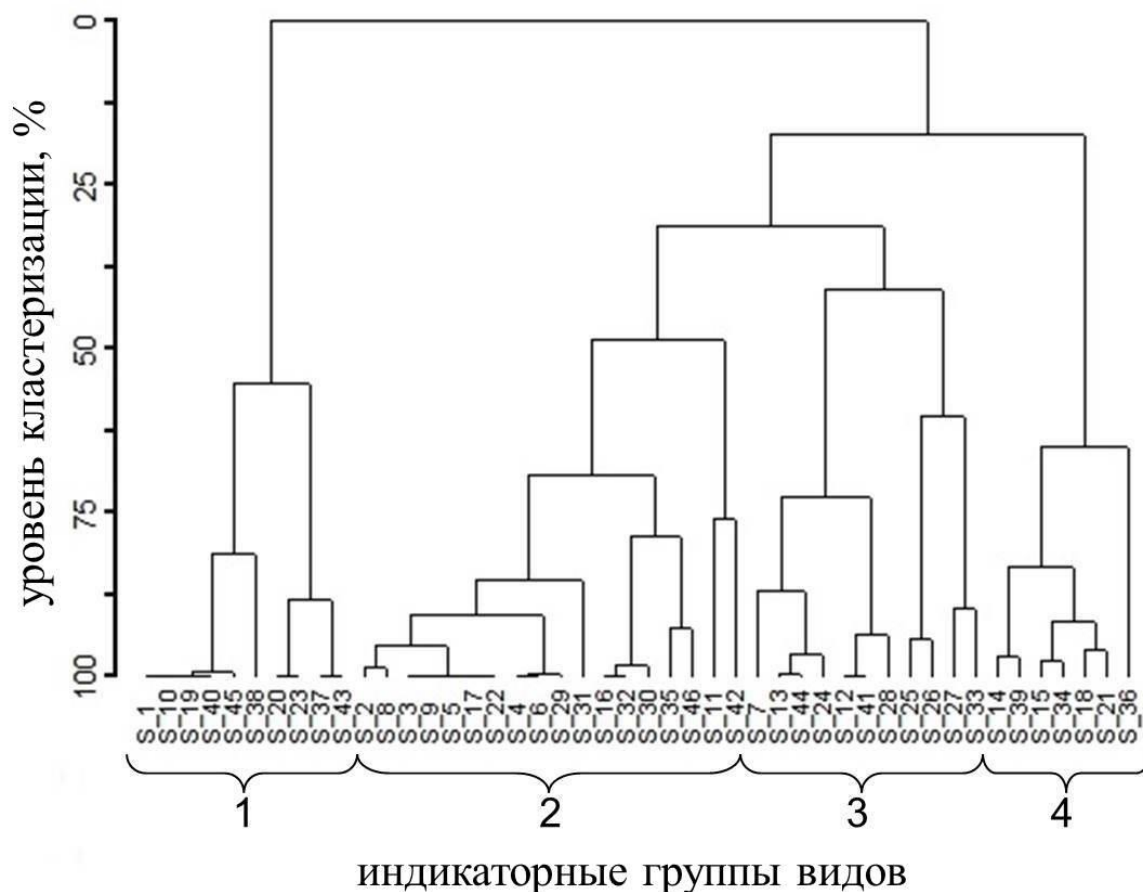


Рис. 4 Кластерный анализ видов сосудистых растений городского парка г. Коркино

В результате кластеризации видов и описаний выделяются 4 индикаторные группы растительности (рис. 5):

1 – индикаторная группа повышения аэрации почв и повышения степени освещенности, представлена видами: Адонис весенний *Adonis vernalis* L., Донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Lam., Ковыль-волосатик *Stipa capillata* L., Синяк обыкновенный *Echium vulgare* L.

2 – индикаторная группа повышения термоклиматической шкалы и понижения кислотности почвы, представлена видами: Карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam., Клевер луговой *Trifolium pratense* L., Кульбаба осенняя *Leontodon autumnalis* L., Пастушья сумка обыкновенная *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., Полевица тонкая *Agrostis capillaris* L.

3 – индикаторная группа понижения содержания карбонатов в почве, представлена видами: Лебеда раскидистая *Atriplex patula* L., Лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L., Пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L.

4 – индикаторная группа увеличения амплитуды годовых температур криоклимата, представлена видами: Земляника лесная *Fragaria vesca* L., Крапива двудомная *Urtica dioica* L.



Рис. 5 Распределение индикаторных сообществ видов парка г. Коркино по методу кластерного анализа

3.3. Выделение индикаторных факторов групп методом корреляционных плеяд

Метод дендрограммы был произведен методом максимального корреляционного пути по матрице коэффициента Браве. [22, 34]

Проанализировав полученные данные, были выявлены 7 индикаторных групп растительности (рис. 6):

1 – индикаторная группа повышения аэрации почв и степени освещенности, представлена видами: Адонис весенний *Adonis vernalis* L., Донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Lam., Ковыль-волосатик *Stipa capillata* L., Космея дваждыперистая *Cosmos bipinnatus* Cav., Лапчатка вильчатая *Potentilla bifurca* L., Пятилистник кустарниковый *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz, Синяк обыкновенный *Echium vulgare* L., Тополь белый *Populus alba* L., Цикорий обыкновенный *Cichorium intybus* L.

2 – индикаторная группа понижения кислотности и повышение аэрации почв, представлена видами: Горох полевой *Pisum arvense* L., Жимолость настоящая *Lonicera xylosteum* L., Жимолость татарская *Lonicera tatarica* L., Лапчатка серебристая *Potentilla argentea* L., Льянка обыкновенная *Linaria vulgaris* Mill., Сирень обыкновенная *Syringa vulgaris* L.

3 – индикаторная группа понижения степени освещенности, представлена видами: Лебеда раскидистая *Atriplex patula* L., Лопух малый *Arctium minus* (Hill) Bernh., Пижма обыкновенная *Tanacetum vulgare* L., Резак обыкновенный *Falcaria* [Riv.] Fabr.

4 – индикаторная группа понижения кислотности почв и содержания карбонатов в почве, представлена видами: Береза повислая *Betula pendula* Roth, Василек луговой *Centaurea jacea* L., Карагана древовидная *Caragana arborescens* Lam., Клевер луговой *Trifolium pratense* L., Кульбаба осенняя *Leontodon autumnalis* L., Нивяник обыкновенный *Leucanthemum vulgare* Lam., Одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* Webb, Пастушья сумка обыкновенная *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.

5 – индикаторная группа понижения кислотности почв и степени освещенности, представлена видами: Бодяк обыкновенный *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., Вьюнок полевой *Convolvulus arvensis* L., Лисохвост луговой *Alopecurus pratensis* L., Мать-и-мачеха обыкновенная *Tussilago farfara* L.,

Полевица тонкая *Agrostis capillaris* L., Щавель конский *Rumex confertus* Willd.

6 – индикаторная группа понижения аэрации почв и степени освещенности, представлена видами: Береза пушистая *Betula pubescens* Ehrh., Горошек мышиный *Vicia cracca* L., Девясил шероховатый *Inula aspera* Poir., Тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L.

7 – индикаторная группа понижения содержания карбонатов в почве, понижения кислотности почв, повышения амплитуды годовых температур, криоклимата, представлена видами: Дуб черешчатый *Quercus robur* L., Земляника лесная *Fragaria vesca* L., Калина обыкновенная *Viburnum opulus* L., Клен остролистный *Acer platanoides* L., Крапива двудомная *Urtica dioica* L., Подорожник ланцетолистный *Plantago lanceolata* L., Полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L., Рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., Тонконог сизый *Koeleria glauca* (Spreng.) DC.



Рис. 6 Распределение индикаторных сообществ видов парка г. Коркино по методу корреляционных плеяд

3.4. Сравнительная оценка использования методов фитоиндикации

С помощью метода главных компонент было выявлено 3 индикаторные группы: 1 – индикаторная группа понижения кислотности и повышения аэрации почв, 2 – индикаторная группа понижения увлажнения почв, повышения переменной увлажнения почв, понижения аэрации почв и повышения степени освещенности, 3 – индикаторная группа понижения кислотности почвы и понижения содержания карбонатов в почве. Таким образом, биотопы парка произрастают на территории парка с учетом экологических факторов кислотности почв, аэрации почв, увлажнения почв, переменной увлажнения почв, освещенности почв и содержания карбонатов в почвах.

При кластеризации по матрице индекса Серенсена-Чекановского с использованием бета-гибкой стратегии Ланса, было выделено 4 индикаторные группы: 1 – индикаторная группа повышения аэрации почв и повышения степени освещенности, 2 – индикаторная группа повышения термоклиматической шкалы и понижения кислотности почвы, 3 – индикаторная группа понижения содержания карбонатов в почве, 4 – индикаторная группа увеличения амплитуды годовых температур криоклимата. Данный метод показывает, что биотопы парка произрастают с учетом таких экологических факторов как кислотность почв, аэрация почв, освещенность почв, термоклимата, увеличения амплитуды годовых температур, криоклимата и содержания карбонатов в почвах.

Метод корреляционных плеяд, дает возможность выделить 7 индикаторных групп: 1 – индикаторная группа повышения аэрации почв и степени освещенности, 2 – индикаторная группа понижения кислотности и повышение аэрации почв, 3 – индикаторная группа понижения степени освещенности, 4 – индикаторная группа понижения кислотности почв и содержания карбонатов в почве, 5 – индикаторная группа понижения кис-

лотности почв и степени освещенности, 6 – индикаторная группа понижения аэрации почв и степени освещенности, 7 – индикаторная группа понижения содержания карбонатов в почве, понижения кислотности почв, повышения амплитуды годовых температур, климата. При использовании метода дендрограммы биотопы парка распределяются по кислотности почв, аэрации почв, увлажнения почв, степени освещенности, амплитуде годовых температур, климата и содержания карбонатов в почвах.

Результаты трех методов отличаются друг от друга, это обосновывается, прежде всего, тем, что метод главных компонент и кластерный анализ в исполнении дают индикаторы, которые характеризуют комплексные факторы, по сравнению с более трудоемким методом корреляционных плеед, который в свою очередь дает более детальные результаты.

Методы сопоставимы и взаимно дополняют друг друга. Более того, методы не противоречат существующей экологической обстановке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растительный покров как индикатор экологических факторов в настоящее время широко используется при оценке состояния окружающей среды. Фитоиндикация является оптимальным и активно развивающимся методом оценки природной среды. Фитоиндикационные методы в настоящее время очень широко используются для оценки экологических режимов в различных сообществах, а также в качестве вспомогательных методов в различных областях наук. Фитоиндикаторы используют в своих исследованиях не только геоботаники, но и лесоводы, землеустроители, геологи, почвоведы, гидрогеологи и ландшафтоведы.

Фитоиндикация, позволяет получить информацию о последствиях изменения среды и провести беглое сканирование больших пространств в целях ранней диагностики экологических нарушений. Преимущество использования растений состоит в том, что они неподвижны. Помимо того, актуальность фитоиндикации обусловлена простотой, скоростью и дешевой определением качества среды, поскольку в этом случае не требуются специальные лаборатории и высокая квалификация персонала.

Фитоиндикация может осуществляться на всех уровнях организации живого: клеток, тканей и органов, организмов, популяций (пространственная группировка особей одного вида), сообществ, экосистем и биосферы в целом. На низших уровнях фитоиндикации возможны прямые и специфические формы индикации, на высших – лишь косвенные и неспецифические. Однако именно последние дают комплексную оценку влияния антропогенных воздействий на природу в целом. Таким образом, использование фитоиндикационных методов для оценки биотопов искусственных рекреационных экосистем возможно на различных уровнях их организации.

Актуальность фитоиндикационных методов обусловлена простотой, скоростью и дешевизной определения качества среды, поскольку в этом случае не требуются специальные лаборатории и высокая квалификация персонала. Фитоиндикационная оценка искусственных экосистем городского парка г. Коркино с использованием методов главных компонент, кластерного анализа и корреляционных плеяд, позволила выявить как ведущие факторы организации растительных сообществ, так и индикаторные группы растений и их сообществ.

При описании парка г. Коркино было заложено 20 эталонных участков размером 10x10 метров. Участки выбирались по территории всего парка. Всего с 20 участков было описано 46 видов растительности.

На разных уровнях организации парковых экосистем при использовании различных математико-статистических методов получаются сходные результаты оценки факторов окружающей среды и биотопов в целом. При этом наиболее точные результаты дает фитоиндикационная оценка на уровне растительных сообществ.

Ведущими факторами организации исследованных растительных сообществ парка г. Коркино являются: кислотность почв, степень освещенности, аэрация почв, содержания карбонатов в почве, увлажнение почв.

С помощью метода главных компонент было выявлено 3 индикаторные группы, кластерным анализом – 4 индикаторные группы, а методом корреляционных плеяд – 7 индикаторных групп растительности. Такие результаты, прежде всего, обусловлены тем, что метод главных компонент и кластерный анализ в исполнении дают индикаторы, которые характеризуют комплексные факторы, по сравнению с более трудоемким методом корреляционных плеяд, который в свою очередь дает более детальные результаты.

Данные методы сопоставимы и взаимно дополняют друг друга. Более того, методы не противоречат существующей экологической обстановке. Таким образом, проведенные исследования показали, что использова-

ние фитоиндикационных методов для оценки биотопов искусственных рекреационных экосистем возможно.

Фитоиндикация не ограничивается статистическими методами. Использование методов географии позволяет наиболее полно исследовать территории различных биогеоценозов. Описание является одним из географических методов.

Так же одним из методов географии является эколого - картографический метод. При помощи данного метода были построены карта-схемы парка и распределения индикаторных сообществ, выделенных с использованием кластерного анализа, главных компонент и корреляционных плеяд. На карта-схеме городского парка были выделены основные ареалы типов растительности. Применение картографического метода в создании карт-схем биотопов позволяет создать правильное картографическое представление экологической ситуации с последующим анализом, оценкой и интерпретацией данной территории.

Подчеркивая всю важность фитоиндикационных методов исследования, необходимо отметить, что фитоиндикаторы в полной мере отражают состояние окружающей природной среды. Но, отражая степень негативного воздействия в целом, фитоиндикация не объясняет, какими именно факторами оно создано. Следовательно, наиболее эффективно оценка окружающей среды может производиться сочетанием физических, химических и биологических методов мониторинга.

Библиографический список

1. Айвазян, С.А. Классификация многомерных наблюдений [Текст] / С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, О.В. Староверов. – М.: Статистика, 1974. – 240 с.
2. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов [Текст] / пер. с англ. под ред. А.Н. Гельфана, Н.М. Новиковой, М.Б. Шадринной. – М.: РАСХН, 1999. – 306 с.
3. Берлянт, А. М. Картография : учебник для вузов [Текст] / А.М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
4. Булохов, А.Д. Основы фитоценологии [Текст] / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГПИ, 1991. –123 с.
5. Булохов, А.Д. Травяная растительность Юго-Западного Нечерноземья России [Текст] / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГУ, 2001. – 296 с.
6. Булохов, А.Д. Фитоиндикация и её практическое применение [Текст] / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГУ. – 2004. – 245 с.
7. Булохов, А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации [Текст] / А.Д. Булохов. – Брянск: Изд-во БГПУ, 1996. – 104 с.
8. Вальтер, Г. Общая геоботаника : пер. с нем. [Текст] / Г. Вальтер – М.: Мир, 1982. – 262 с.
9. Варминг, Е. Экологическая география растений : пер. с нем. [Текст] / Е. Варминг – СПб.: 1901. – 528 с.
10. Василевич, В.И. Статистические методы в геоботанике [Текст] / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1969 – 232 с.
11. Викторов, С.В., Индикационная геоботаника : учеб. пособие [Текст] / С.В. Викторов, Г.Л. Ремезова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 168 с.

12. Викторов, С.В., Ландшафтная индикация и ее практическое использование [Текст] / С.В. Викторов, А.Г. Чекишев. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 200 с.
13. Виноградов, Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов [Текст] / Б.В. Виноградов. – М.: Высшая школа, 1964. – 327 с.
14. Гумбольдт, А. Прологомены к географическому распределению растений согласно температуре воздуха и высоте гор [Текст] / А. Гумбольдт. – М.: Сельхозгиз, 1936. – 231 с.
15. Докучаев, В.В. К вопросу о переоценке земель Европейской и Азиатской России с классификацией почв [Текст] / В.В. Докучаев // Докучаев В.В. Сочинения. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 324 с.
16. Докучаев, В.В. К учению о зонах природы [Текст] / В.В. Докучаев // Докучаев В.В. Сочинения. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 264 с.
17. Енюков, И.С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа (Пакет ППСА) [Текст] / И.С. Енюков. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 231 с.
18. Корчагин, А.А. Использование растительных сообществ как индикаторов среды [Текст] / А.А. Корчагин // Теоретические вопросы фитоиндикации. – Л.: Наука, 1971. – 7-15 с.
19. Миркин, Б.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии [Текст] / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг, Л.Г. Наумова – М.: Наука, 1989. – 223 с.
20. Миркин, Б.М. Теоретические вопросы современной фитоценологии [Текст] / Б.М. Миркин. – М.: Наука, 1985. – 137 с.
21. Миркин, Б.М. Фитоценология. Принципы и методы [Текст] / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг – М.: Наука, 1978. – 212 с.
22. Нешатаев, Ю.Н. Методы анализа геоботанических материалов: учеб. пособие. [Текст] / Ю.Н. Нешатаев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 192 с.

23. Ниценко, А.А. Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты геоботанического исследования. Сущность, свойства и методы выделения [Текст] / А.А. Ниценко. – Л.: Наука, 1971. – 184 с.
24. Пузаченко, Ю.Г. Анализ организации растительного покрова методами ординации [Текст] / Ю.Г. Пузаченко, А.Г. Санковский. // Журнал общей биологии. – М.: Наука, 1992. – 453с.
25. Раменский, Л.Г. Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель [Текст] / Л.Г. Раменский. – М.: Наука, 1938. – 615 с.
26. Раменский, Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова [Текст] / Л.Г. Раменский. – Л.: Наука, 1973. – 334 с.
27. Раменский, Л.Г. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову [Текст] / Л.Г. Раменский, А.И. Цаценкин, О.Н. Чижиков, Н.А. Антипин. – М.: Сельхо - издат, 1956. – 472 с.
28. Салищев, М. А. Картоведение: учебник [Текст] / М.А. Салищев. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 400 с.
29. Самойлов, Ю.И. Некоторые результаты сравнения экологических шкал Раменского, Элленберга, Хундта и Клаппа [Текст] / Ю.И. Самойлов. // Бот. журн. – 1973. – Т 58, № 5, – 646-655 с.
30. Самойлов, Ю.И. Экологические шкалы Л.Г. Раменского и аспекты их применения [Текст] / Ю.И. Самойлов. // Бот. журн. – 1986. – Т 71. № 2. – 137-147 с.
31. Стурман, В. И. Экологическое картографирование: учебное пособие [Текст] / В.И. Стурман. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
32. Сукачев, В.Н. Некоторых общие теоретические вопросы фитоценологии [Текст] / В.Н. Сукачев. // Вопросы ботаники. М.: 1954. – Т 1, № К – 291-309 с.
33. Сукачев, В.Н. Руководство к исследованию типов лесов [Текст] / В.Н. Сукачев. – М.: Наука, 1931. – 325 с.

34. Терентьев, П.В. Метод корреляционных плеяд [Текст] / П.В. Терентьев // Вестник Ленинградского государственного университета. – 1959. – № 9. – 137 – 141 с.

35. Ханина, Л.Г. Новый метод анализа лесной растительности с использованием многомерной статистики (на примере заповедника Калужские засеки) [Текст] / Л.Г. Ханина, В.Э. Смирнов, М.В. Бобровский // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 2002. – Т. 107, вып. 1. – 40 – 48 с.

36. Цыганов, Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов [Текст] / Д.Н. Цыганов – М.: Наука, 1983. – 196 с.

37. Шенников, А.П. Экология растений [Текст] / А.П. Шенников. – М.: Сов. наука, 1950. – 375 с.

38. Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике [Текст] / В.М. Шмидт. – Л.: ЛГУ, 1984. – 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Интерпретация осей главных компонент – выделение индикаторных групп растений

№ п/п	Вид	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
1	<i>Adonis vernalis</i> L.	0,033	0,957	0,238
2	<i>Betula pendula</i> Roth	0,798	0,031	0,371
3	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	0,699	0,563	0,315
4	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	0,751	0,308	0,128
5	<i>Centaurea jacea</i> L.	0,782	0,495	0,269
6	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0,623	0,445	-0,236
7	<i>Pisum arvense</i> L.	0,416	-0,007	0,385
8	<i>Vicia cracca</i> L.	0,525	0,470	0,368
9	<i>Inula aspera</i> Poir.	0,699	0,563	0,315
10	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	0,033	0,957	0,238
11	<i>Quercus robur</i> L.	0,609	-0,089	-0,288
12	<i>Lonicera xylosteum</i> L.	0,283	0,150	0,832
13	<i>Lonicera tatarica</i> L.	0,175	0,376	0,868
14	<i>Fragaria vesca</i> L.	-0,467	-0,065	-0,060
15	<i>Viburnum opulus</i> L.	-0,416	-0,299	-0,113
16	<i>Caragana arborescens</i> Lam.	0,902	-0,264	0,109
17	<i>Trifolium pratense</i> L.	0,782	0,495	0,269
18	<i>Acer platanoïdes</i> L.	-0,652	-0,628	0,071
19	<i>Stipa capillata</i> L.	0,033	0,957	0,238
20	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	0,115	0,841	0,083
21	<i>Urtica dioica</i> L.	-0,350	-0,333	-0,230
22	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	0,782	0,495	0,269
23	<i>Potentilla bifurca</i> L.	0,115	0,841	0,083
24	<i>Potentilla argentea</i> L.	0,173	0,126	0,736
25	<i>Atriplex patula</i> L.	0,135	-0,296	0,435
26	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	0,298	-0,206	-0,191
27	<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.	-0,056	-0,040	0,594
28	<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	0,341	-0,237	0,738
29	<i>Tussilago farfara</i> L.	0,539	0,616	-0,091
30	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	0,708	0,158	0,045
31	<i>Taraxacum officinale</i> Webb	0,502	0,347	0,165

Продолжение таблицы на следующей странице

Продолжение таблицы

№ п/п	Вид	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
32	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik	0,902	-0,264	0,109
33	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	-0,282	0,305	0,379
34	<i>Plantago lanceolata</i> L.	-0,472	-0,258	-0,193
35	<i>Agrostis capillaris</i> L.	0,524	-0,302	0,150
36	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	-0,277	-0,137	-0,114
37	<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O.Schwarz	0,109	0,715	-0,293
38	<i>Falcaria</i> (Riv.) Fabr.	0,114	0,460	0,373
39	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	-0,234	-0,334	-0,313
40	<i>Echium vulgare</i> L.	0,033	0,957	0,238
41	<i>Syringa vulgaris</i> L.	0,283	0,150	0,832
42	<i>Koeleria glauca</i> (Spreng.) DC.	0,315	-0,208	-0,318
43	<i>Populus alba</i> L.	0,109	0,715	-0,293
44	<i>Achillea millefolium</i> L.	0,215	0,726	0,615
45	<i>Cichorium intybus</i> L.	0,004	0,818	-0,013
46	<i>Rumex confertus</i> Willd.	0,486	-0,315	0,163

Приложение 2

Идентификация ведущих экологических факторов по методу главных компонент

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
hd	0,110	-0,293	-0,145
fh	0,094	0,224	-0,013
rc	-0,289	0,140	-0,070
sl	-0,061	0,188	0,110
Ca	-0,061	0,147	-0,033
nt	-0,032	-0,160	-0,087
ae	0,234	-0,227	-0,028
tm	-0,029	0,039	0,045
om	0,053	-0,141	-0,036
Kn	0,016	0,033	0,009
Cr	-0,022	0,035	0,001
lc	-0,014	0,364	0,017