



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ

КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

## Биоиндикация биотопов Шершневого городского бора

Выпускная квалификационная работа  
по направлению 44.04.01 – «Педагогическое образование»  
Направленность программы магистратуры  
«Эколого-биологическое образование»

Проверка на объем заимствований:  
60,87 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована  
« 26 » мая 2017 г.  
зав.кафедрой химии, экологии и МОХ  
(название кафедры)  
Сычев В. А.

Выполнил:  
Студент группы ОФ-201/139-2-1  
Ильин Егор Николаевич

Научный руководитель:  
д.б.н., доцент  
Назаренко Назар Николаевич

Челябинск  
2017



## Содержание

Введение -----	3
1. Фитоиндикация экологических условий – теоретические основы -----	5
1.1 Природоохранная фитоиндикация и ее уровни-----	5
1.2 Методы фитоиндикации-----	7
2. Характеристика объектов и методика исследований -----	15
2.1 Метод экологического картографирования как пространственного отображения фитоиндикации-----	15
2.2 Статистические методы исследования растительного покрова -----	20
2.3 Характеристика ООПТ «Челябинский городской бор» -----	27
3. Характеристика нестатистических методов исследования -----	29
3.1 Полевые методы исследования лесных экосистем -----	29
3.2 Методика оценки состояния растительности-----	32
3.3 Принципы и методы определения рекреационных нагрузок-----	34
3.4 Методика определения проективного покрытия-----	36
4. Фитоиндикация биотопов Челябинского городского бора -----	37
4.1 Анализ геоботанических описаний-----	37
4.2 Фитоиндикация лесорастительных условий таксационными показателями древостоя Челябинского городского бора -----	39
4.3 Фитоиндикация биотопов сосновых насаждений Челябинского городского бора -----	44
Заключение-----	49
Список литературы -----	51
Приложение -----	54

## Введение

Проблема экологического контроля и управления качеством окружающей среды сегодня наиболее актуальна. Челябинский городской сосновый бор выполняет рекреационную, защитную, лечебную и эстетическую функции.

Сосна выделяет массу эфирных масел в воздух, которые благотворно влияют на дыхательную систему человека. Деревья выделяют фитонциды, которые убивают болезнетворные бактерии или задерживают их развитие. Эти свойства приобретают особую ценность в условиях города, где воздух содержит в десятки раз больше болезнетворных микроорганизмов, чем воздух полей и лесов. Лес выделяет огромное количество кислорода, очищает воздух (при прохождении воздуха над лесопарковыми зонами площадью в 600-1000 га количество взвешенных примесей уменьшается на 10-40 %).

Существенной особенностью кислорода, выделяемого лесом, является его насыщенность лёгкими отрицательными ионами (число легких ионов в 1 см<sup>3</sup> воздуха над лесами составляет 2000-3000, в городском парке - 800, в промышленном районе - 200-400, в закрытом многолюдном помещении - 25-100). Сосны способны благоприятно воздействовать на ионизацию воздуха только в зрелом возрасте.

В нынешнее время всё более заметными становятся нарушения равновесия в экосистеме бора, испытывающего колоссальные и никак не регулируемые антропогенные нагрузки (экологический риск).

Несмотря на расположение бора в городской черте, состояние его адаптации к комплексу экологических факторов остаётся недостаточно изученным. Возникает типичное противоречие между использованием этой территории для нужд населения и необходимостью сохранения лесов, тем более городских.

В связи с усилением антропогенной нагрузки на городскую флору необходима разработка и апробация методов, позволяющих оценить экологическое состояние Челябинского городского бора.

**Цели исследования:** Изучить состояние биотопов Челябинского городского бора методами фитоиндикации.

**Задачи исследования**

1. Изучить типологическую структуру соснового бора
2. Составить эколого-лесоводственную характеристику сосновых и березовых насаждений бора.
3. Провести анализ таксационной структуры лесонасаждений в связи с лесорастительными условиями.
4. Провести фитоиндикацию биотопов соснового бора.

**Объектом** исследования являются лесные насаждения Челябинского городского бора.

**Предметом** исследования являются лесотипологические, лесотаксационные и фитоиндикационные показатели биотопов соснового бора

# 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.

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.

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». [8,9,11]

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.

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. Чикишев выделяют *частные* и *комплексные* индикаторы. [10]

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.

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. [6]

Индикаторы по характеру связи с индикаторами разделяют на *прямые* и *косвенные*. К прямым относят те, которые имеют непосредственную связь с индикаторами, а косвенными, которые связаны с индикаторами через промежуточное звено. Например, косвенным индикатором могут служить в

песчаных пустынях фитоценозы с доминированием фреатофитов, присутствие которых возможно только, когда их корневая система связана с грунтовыми водами. Они являются прямыми индикаторами грунтовых вод, а растения, указывающие на благоприятные условия аэрации песков и фильтрации в них осадков, - лишь косвенными.

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.

## 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. [5]

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 необходимым 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. Также величина площади зависит от типа растительности: для травянистых сообществ 25 - 100 м<sup>2</sup>, 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. [21]

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.

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. [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 осуществляется при помощи крупно- или среднемасштабных топографических карт с использованием указанных на них типов 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 характеризуется 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. [2]

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. [5]

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 индикатора - достоверность, значимость - по отношению 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.

*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).

Для оценки достоверности индикатора С.В. Викторов и др. предложили эвристический показатель:  $B_1 = \frac{a}{(N-a)}$ , который используется совместно 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. [7]

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. [17]

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 распознавалась 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). [17]

Можно пользоваться методом В. И. Василевича, который является обобщением метода Хилла. [7]

Каждый вид растения имеет свою экологическую амплитуду, в пределах которой может 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

$\eta^2 = \frac{C_x}{C_y}$ , где  $C_y$  - общее варьирование признака, вызванное всеми действующими на растение факторами;  $C_x$  - факториальное варьирование. Теснота связи *эта-квадрат* -  $\eta^2$ . Пределы значений  $\eta^2$  - 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” 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. [22]

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.

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 и называют индикаторными. [6]

*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. [21, 26] 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.

## Глава 2. Характеристика объектов 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 трудно сопоставимой 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. [4]

*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 космоснимков.

Форма представления данных натурных 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 – наблюдения физических параметров.

С развитием дистанционного зондирования исследования на «ключях» 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.

*Дистанционное зондирование.* 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. [12]

*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 прогнозныe карты составляют в результате трансформирования и синтеза

нескольких аналитических карт. [4]

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 могут 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. 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 поддающиеся 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).

## 2.2 Статистические методы исследования 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. [18]

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 разбивки описаний на группы (классы), в зависимости от количественной характеристики и встречаемости в описаниях видов, и разнесения 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. [23,24]

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. [31]

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;
- кластеризацию «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».

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 центрированными (изменяются от  $-1$  до  $+1$ ) и нецентрированными (возрастают от  $0$  до  $1$  и выше); симметричными (не зависят от порядка сопоставления видов  $X$  с  $Y$  или  $Y$  с  $X$ ) и несимметричными; абсолютными (при расчете учитывается отсутствие обоих видов) и полными (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, т. е. точности классификации.

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 - прямой и непрямой. Прямой градиентный анализ впервые 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. 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 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 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 зависимости изменения собственных значений от порядкового номера оси. [28]

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.

Нужно отметить, что для биологических объектов линейные зависимости 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. Выше изложенное 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.

### 2.3 Характеристика ООПТ «Челябинский городской бор»

Челябинский городской бор расположен на правом берегу р. Миасс в городской черте. На западе и севере он ограничен рекой, на юге - каменным карьером. Северо-восточная часть бора со многими бывшими каменными карьерами - городской парк культуры и отдыха им. Ю.Г. Гагарина. Небольшой фрагмент его сохранился близ Центрального стадиона. Бор входит в состав городского лесничества Челябинского лесхоза и разбит на 49 кварталов. Площадь бора в настоящее время не превышает 12 км<sup>2</sup> (около 1200 га). Протяжённость его с северо-востока на юго-запад составляет 5,5 км, с севера на юг - 5 км, средняя ширина - около 2 км. На территории охранной зоны Памятника природы располагается выявленный объект архитектурного наследия «Памятник академику И.В. Курчатову» и выявленный объект археологического наследия «Стоянка Шершни 1».

Памятник природы представляет собой реликтовую экосистему, сформировавшуюся на рубеже верхнего плейстоцена и голоцена (около 10000 лет тому назад) в период повышения засушливости (аридизации) климата и отступления сплошной лесной зоны на север. Климат района, где располагается городской бор, континентальный, с суровой зимой и довольно жарким летом, с недостаточным увлажнением и периодически повторяющимися засухами. Продолжительность вегетационного периода составляет в среднем 164 дня, безморозного - 125 дней.

Рельеф территории характеризуется слабой всхолмленностью. Основными горными породами, подстилающими горные слои, являются граниты, местами выходящие на поверхность. Почвенный покров образован дерново-подзолистыми (80%), супесчаными и песчаными типами почв. Гидрографическая сеть представлена рекой Миасс, Шершневым водохранилищем, озерами, образовавшимися в бывших каменоломнях, речкой Чекинкой (Челябкой). Больших болот нет.

Древесно-кустарниковая растительность насчитывает более 60 видов,

травяной покров – более 200 видов. В состав древостоя Памятника природы входят сосна обыкновенная (более 90%), береза повислая, в понижениях - береза пушистая (единично), осина. Кроме этого, в бору встречаются рябина, липа, вяз, яблоня, ольха черная и серая, различные виды ив. Благодаря искусственным посадкам в состав древостоя введены лиственница сибирская, дуб черешчатый, тополь бальзамический, ель сибирская, клены ясенелистный, остролистный и татарский.

Челябинский сосновый городской бор относится к лесам первой группы защищённости. Обоснованием создания ООПТ является тот факт, что Челябинский бор занимает особо важное средозащитное, водоохранное, санитарно-гигиеническое, оздоровительное и рекреационное значение для населения города, а так же является уникальным островным бором, реликтом плейстоценовой перигляциальной лесостепи, расположенным в черте города Челябинска. [20]

Государственными органами, отвечающими за обеспечение охраны и функционирование ООПТ, являются областное государственное учреждение «Особо охраняемые природные территории Челябинской области» и Министерство экологии Челябинской области.

## Глава 3. Характеристика нестатистических методов исследования

### 3.1 Полевые методы исследования лесных экосистем

При описании древостоев для оценки роли каждой древесной породы в лесном фитоценозе определяют состав древостоя. Под составом древостоя принято понимать степень участия каждой породы в древостое данного фитоценоза. Состав древостоя определяется методом относительного учёта, т.е. когда оценивается соотношение между численностью разных пород; для древостоя оно выражается в виде формулы по 10- балльной шкале. Общее число стволов на пробной площади принимают за 10 единиц, (что соответствует 100%), участие каждой породы в смешанных насаждениях оценивается в долях от 10. Древесные породы обозначаются в формуле первыми буквами своего наименования: С - сосна, Л - лиственница, Д - дуб, Ос - осина и т. д. Коэффициенты, стоящие перед названием древесных пород, показывают их относительное участие в древостое.

Обилие видов растений всех ярусов лесных фитоценозов определяется методами абсолютного учёта, когда количество особей данного вида учитывается безотносительно к количеству особей других видов. Применяются глазомерные методы учёта, т. к. числовые методы трудоёмки и используются обычно при стационарных исследованиях.

Глазомерная количественная оценка обилия осуществляется посредством различных шкал, где баллами обозначаются разные степени обилия.

Наиболее широкое применение для оценки обилия травянистых растений получила шкала Друде в интерпретации А. А. Уранова (табл. 3.1). [25]

Таблица 3.1

Шкала оценок обилия по Друде с дополнениями А. А. Уранова (1935),  
П. Д. Ярошенко (1969) и цифровой шкалой А. П. Шенникова (1964)

Обозначение обилия по Друде	Характеристика обилия	Среднее наименьшее расстояние между особями (см)	Проективное покрытие (%)	Цифровая шкала
Cop 3 (copiase 3)	Очень обильно	Не более 20	90-70	5
Cop 2 (copiase 2)	Обильно	20-40	70-50	4
Cop 1 (copiase 1)	Довольно обильно	40-100	50-30	3
Sp (sparsae)	Рассеянно	100-150	30-10	2
Sol (colitariae)	Единично	Более 150	Менее 10	1

А.А. Уранов, базируясь на том положении, что чем больше особей вида встречается на площади, тем (в среднем) должно быть меньше и расстояние между ними, предпринял попытку охарактеризовать баллы в шкале Друде средними величинами наименьших расстояний между растениями данного вида. Некоторые авторы считают, что при использовании шкальных оценок обилия неизбежно приходится сочетать представление о количестве экземпляров каждого вида (оцененного определенным баллом шкалы) с представлением о его покрытии. Кроме перечисленных степеней обилия иногда употребляют ещё степень un (unicum) для видов, встреченных в единственном экземпляре на всей описываемой площади.

Из методов косвенного абсолютного учёта обилия (когда учитывается не само обилие вида, а какая-то его особенность, выражаемая количественно) для травянистых растений очень широко употребляется определение проективного покрытия отдельных видов. Несмотря на справедливые критические замечания в отношении шкалы Друде (её субъективность и приблизительность количественной оценки), быстрота и очень небольшая трудоёмкость при её использовании делают эту шкалу удобной при проведении маршрутных исследований. Кроме того, замена обилия (пусть глазомерно определенного)

только проективным покрытием для каждого вида не всегда оправдана, так как проективное покрытие менее постоянная величина, чем обилие.

При характеристике древесных ярусов (древостоев) следует иметь представление о содержании следующих пунктов бланка описания.

*Сомкнутость крон* - площадь, занятая проекциями крон деревьев без учёта просветов внутри крон. *Высота деревьев* измеряется глазомерно. *Диаметр стволов* измеряется с помощью мерной вилки на высоте 1,3 м от основания стволов. *Возобновление древостоя* включает всходы и подрост. Всходами принято считать одно- или двулетние деревца. Лесоводы условно все деревца высотой до 10 см относят к всходам, а более высокие - к подросту, но не выше 1/4 или 1/2 высоты взрослых деревьев. Значение изучения всходов и подростка велико, поскольку позволяет судить о степени обеспеченности естественного возобновления, об устойчивости данного фитоценоза, возможности смены древесных пород и т. д. *Общее проективное покрытие* - это площадь, занятая проекциями надземных частей растений, выраженная в процентах. При определении проективного покрытия наблюдатель смотрит сверху вниз, и учитывает отношение проекции надземных частей всех растений к общей площади, на которой определяется проективное покрытие. *Истинное покрытие (задернованность)* - это покрытие поверхности почвы основаниями стеблей растений. Оно всегда меньше общего проективного покрытия и, при одинаковом последнем, может варьировать. *Аспект* - это внешний вид (физиономичность) фитоценоза. Этот признак фитоценоза выражается исключительно словесными описаниями. *Фенологическое состояние растений*. Растения, слагающие травостой каждого сообщества, в момент описания находятся в различных фазах развития (фенофазах). Для обозначения фенофаз применяется следующая система обозначений (табл. 3.2).

Таблица 3.2

## Система обозначения фенофаз

Фенофаза	Обозначение	
	Буквенное	Значковое
Вегетация до цветения	Вег.	—
Бутонизация (у злаковых и осок - колошение)	Бут., кшн.	^
Начало цветения и спороношение	Зацв., сп.	∩
Полное цветение и спороношение	Цв., сп.	○
Отцветание и конец спороношения	Отцв., ксп.	С
Созревание семян (плодов) и спор	Пл., сп.	+
Семена (плоды), а также и споры созрели и высыпаются (оппадают)	Осып.	#
Вегетация после цветения и спороношения (вторичная вегетация)	Вт. вег.	~

## 3.2 Методика оценки состояния растительности

Описания фитоценозов проводились на пробных площадках, размеры которых 10 м × 10 м. На бланке геоботанического описания указывалось название ассоциации по доминирующим видам, географическое положение площадки, общий характер рельефа, особенности микрорельефа, описывалась мёртвая подстилка, видовое название растения, ярус, обилие, проективное покрытие, фенофаза и характер размещения растений. Для работы по этой методике требуются определители, а также: 12 - 20 колышков; веревка, на которой отмечены метровые и десятиметровые деления (узелки или кусочки липкой ленты "скотч"); карандаш и блокнот для записи наблюдений.

Выйдя на место планируемых исследований, необходимо провести закладку пробных площадок, по которым составляется описание мест произрастания первоцветов.

Для этого колышками отмечается квадратный участок размером 10 м × 10 м (для этого и понадобится размеченная веревка). При выборе места для разбивки пробной площадки необходимо руководствоваться несколькими правилами.

1. Площадка должна отражать типичную картину данного растительного сообщества.

2. Пробных площадок желательно делать несколько (как минимум три, лучше пять) для того, чтобы обобщенные данные возможно более полно соответствовали реальной картине.

3. Может случиться так, что раннецветущие растения расположены в исследуемом месте неравномерно (группами) - при закладке нескольких площадок надо стремиться к тому, чтобы на них оказались (в разном соотношении) все основные представители весенней флоры.

На каждой учётной площадке описывают следующие показатели.

- Обилие или степень участия видов в травостое. Рассчитывается по шкале Drude (Друде).

- Фон (Ф) - растения встречаются в очень большом количестве, так что их наземные части смыкаются.

- Обильно (Об) - в очень большом количестве (более 90%)

- (Об3) - очень обильно (70-90%)

- (Об2) - обильно (50-70%)

- (Об1) - довольно обильно (30-50%)

- Изредка (Изр.) - в небольшом количестве (10-30%)

- Редко (Р.) - очень мало (менее 10%)

- Единично (Ед.) - одно растение на площадке

При описании растений фитоценоза учитывается их фенологическое состояние. Продолжительность каждой фенологической фазы определяется в днях; обычно ежегодно она несколько изменяется. Прежде всего это зависит от погодных условий лета. При пониженных температурах каждая фенофаза удлиняется, при повышенных - уменьшается. На продолжительность отдельных фенофаз оказывают влияние также и другие факторы окружающей среды - густота растений, плодородие почвы, осадки и др.

Проективное покрытие - при определении проективного покрытия учитывают отношение проекции надземных частей растений к общей площади,

на которой оно определяется. Проективное покрытие выражается в процентах и определяется для каждого вида в отдельности на глаз (10 %, 30 %, 60 % и т. д.) или для большей точности с помощью оборудования (сеточка Раменского).

Характер размещения бывает: равномерный, группами, рассеянный, редкими скоплениями с примесью особей других видов и т. д.

«Жизненность» обычно указывают состояние растения (в норме, сильно или слабо угнетенное).

После того, как исследования проведены, отмечаются также некоторые биологические особенности этих растений. После разбивки на каждой площадке необходимо подсчитать и определить все раннецветущие растения, также деревья и кустарники (по возможности, но в данном проекте не обязательно), после чего заполнить прилагаемые бланки.

### 3.3 Принципы и методы определения рекреационных нагрузок

Принципы и методы определения рекреационных нагрузок и использования их при организации рекреационного природопользования, а также при проектировании рекреационных объектов разрабатываются с 70-х годов Ю. Б. Хромовым (1981), Э. Репшасом (1994), Л. П. Рысиным (1983), А. И. Тарасовым (1986), И. В. Тараном (1977, 1985), Р. И. Ханбековым (1980, 1983). Рекреационная нагрузка – степень непосредственного влияния отдыхающих людей, их транспортных средств, строительства временных и дачных жилищ и других сооружений на природные комплексы или рекреационные объекты. Выражается количеством людей или человеко-дней на единицу площади или рекреационный объект за определенный промежуток времени (обычно за день или год). Различают оптимальную, предельную (максимально допустимую) и деструкционную (гибельную) рекреационную нагрузку. [13]

В основе многих экологических исследований лежит положение о стадиях «рекреационной дегрессии» по аналогии со стадиями пастбищной дегрессии. Изучая лесопарковую зону Подмосковья, Н.С. Казанская выделила и

описала пять стадий рекреационной депрессии.

1. Деятельность человека не внесла в лесной комплекс заметных изменений;

2. Рекреационное воздействие человека выражается в установлении редкой сети тропинок, в появлении среди травянистых растений некоторых светолюбивых видов, в начальной фазе разрушения подстилки;

3. Тропиночная сеть сравнительно густа, в травянистом покрове преобладают светолюбивые виды, начинают появляться и луговые травы, мощность подстилки уменьшается, на внетропиночных участках возобновление леса все еще удовлетворительное;

4. Тропинки густой сетью опутывают лес, в составе травянистого покрова количество собственно лесных видов незначительно, жизнеспособного подроста молодого возраста (до 5 - 7 лет) фактически нет, подстилка встречается фрагментарно у стволов деревьев;

5. Полное отсутствие подстилки и подроста, отдельными экземплярами на вытоптанной площади – сорные и однолетние виды трав. [15]

Граница устойчивости природного комплекса, т.е. предел, после которого наступают необратимые изменения, проходит между 3 и 4 стадиями. Соответственно, за предельно допустимую принимается та нагрузка, которая соответствует третьей стадии депрессии. Необратимые изменения в природном комплексе начинаются на четвертой стадии, а угроза гибели лесных насаждений - на пятой стадии. Первая, вторая, и отчасти, третья стадии депрессии растительного покрова, с точки зрения эстетической привлекательности природного комплекса, в ряде случаев могут быть признаны положительными.

Существуют стандарты, которые используют для регулирования рекреационной нагрузки. Отраслевой стандарт «Использование лесов в рекреационных целях» (ОСТ 56 - 84 - 85) дает основные определения и термины: лесная рекреация, виды лесной рекреации, лесной природный комплекс, рекреационная нагрузка (в том числе рекреационная плотность,

рекреационная посещаемость, рекреационная интенсивность), предельно допустимая рекреационная нагрузка, стадия рекреационной депрессии (1985). Стандарт отрасли (ОСТ 56 – 100 - 95) «Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы» принят в 1995 году. Он включает методы и единицы измерения рекреационной нагрузки, разработанные на основе ГОСТ 8.207 - 76 «Государственная система обеспечения единства измерений», прямые измерения с многократными наблюдениями.

### 3.4 Методика определения проективного покрытия

Проективное покрытие - величина проекции надземных частей растений - служит показателем борьбы растений за свет, влагу, питательные вещества и пространство и тем самым показывает роль вида в процессе ассимиляции и круговорота веществ. Эта величина зависит от ярусного положения растений данного вида, жизненной формы, жизненности и прочих характеристик. Проведение данной работы требует некоторых приспособлений для измерения.

Для определения проективного покрытия необходима специальная рамка-сетка из прозрачного материала с внутренним диаметром 50см x 50см и разделённая на 5 квадратов со сторонами 10см x 10см (один квадрат составит 5% площади рамки). Определяем пробную площадку, размещаем на ней квадрат. Производим подсчет растений, попавших в поле рамки в 3-х квадратах 10см x 10см (выбор квадратов можно изменять по желанию). Для того чтобы не пропустить виды, произрастающие на исследуемом участке, производим еще несколько подсчетов растений в 3-х местах пробной площадки (число пробных площадок может быть разным).

Составляем флористический состав пробной площадки. Наиболее часто встречаемые растения - доминантные виды. Записываем перечень всех видов, встречаемых на пробной площадке, в порядке убывания отношения площади проекций наземных частей растений ко всей учетной площади. [1]

## Глава 4. Фитоиндикация биотопов Челябинского городского бора

### 4.1 Анализ геоботанических описаний

Описания фитоценозов производились на 52-х пробных площадях, размеры которых 10м × 10м, в случайной последовательности. На бланке геоботанического описания указывалось название ассоциации по доминирующим видам, географическое положение площадки, общий характер рельефа, особенности микрорельефа, описывалась мертвая подстилка.

В каждом биотопе работа проводилась в следующем порядке.

1. В полевом дневнике указывался номер точки.
2. Описывались физические особенности местообитания и особенности растительного сообщества (положение в рельефе, окружение точки).
3. Записывался перечень всех видов древесно - кустарниковых растений, произрастающих на данной точке.
4. Составлялся список обнаруженных видов растений, указывались некоторые биологические особенности (тип опыления).
5. На основе собранных данных составлялось усредненное описание пробной площади, характерное для исследованного участка леса.

По предварительным данным, флора Челябинского городского бора насчитывает сейчас более 260 видов. Древостой обычно одноярусный и достаточно разрежен. В бору растёт сосна обыкновенная, которая составляет 91% древостоя, берёза пушистая, берёза пониклая (преимущественно на бывших пожарищах). На более увлажнённых участках имеются смешанные сосново-берёзовые насаждения, на болотах - ольшаники (19 и 20 кварталы). В последние годы высажены: тополь бальзамический, клён ясенелистный, остролистый, татарский, лиственница, дуб черешчатый и др. Под пологом сосны создаются благоприятные условия для произрастания подлеска из жимолости татарской, кизильника черноплодного, раkitника русского, шиповника коричневого, спиреи городчатой, вишни степной, боярышника кроваво-красного, рябины обыкновенной, дрока красильного, малины.

На заболоченных участках растут ива пятитычинковая и ива серая. Травяной покров насчитывает более 200 видов, относящихся к 46 семействам. Встречаются два вида татарников, кое-где сохранились небольшие фрагменты с надпочвенным покровом из различных видов кустарников.

Анализ геоботанических описаний в сосновом лесу выявил значительное обеднение флористического разнообразия и внедрение под полог леса сорных видов. Флористическое разнообразие не соответствует данному типу лесорастительных условий. На расстоянии видно, что древесный ярус сосны имеет ровный, одинаковый на всем участке, характер. Возраст сосны по мутовкам - 40 лет, фактический возраст 63 года. Это объясняется тем, что сосна до сорока лет образует мутовки, а дальше рост может прекратиться из-за почвенных условий. Хорошо развитый древостой неблагоприятно влияет на почву, вызывая образование малоактивного и слабо минерализующегося грубого гумуса, и наоборот, этот же малоактивный грубый гумус в свою очередь замедляет рост.

Таблица 4.1

Параметры проективного покрытия (усреднено) видов, произрастающих на всех описанных пробных площадках

Вид растения	Проективное покрытие (%)
Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> )	65
Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> )	24.8
Тополь бальзамический ( <i>Populus balsamifera</i> )	0.0
Клён ясенелистый ( <i>Acer negundo</i> )	1.73
Осина обыкновенная ( <i>Populus tremula</i> )	1.15
Лиственница сибирская ( <i>Larix sibirica</i> )	1.15
Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> )	0.97
Ракитник русский ( <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> )	30
фиалка песчаная ( <i>Viola arenaria</i> )	10
Купена лекарственная ( <i>Polygonatum officinale</i> )	30
Герань луговая ( <i>Geranium pratense</i> )	30
Ветреница лесная ( <i>Anemone sylvestris</i> )	50
Пастушья сумка обыкновенная ( <i>Capsella bursa pastoris</i> )	0.0
Спирея городчатая ( <i>Spiraea crenata</i> )	0.0
Вероника весенняя ( <i>Veronica verna</i> )	9.81
Хохлатка плотная ( <i>Corydalis solida</i> )	30

Гвоздика дельтовидная ( <i>Dianthus deltoides</i> )	50
Смолка липкая ( <i>Steris viscaria</i> )	30
Мать-и-мачеха обыкновенная ( <i>Tussilago farfara</i> )	9.81
Очиток пурпурный ( <i>Sedum purpureum</i> )	10
Тмин обыкновенный ( <i>Carum carvi</i> )	5.57
кровохлёбка лекарственная ( <i>Sanguisorba officinalis</i> )	6.15
Купальница европейская ( <i>Trollius europaeus</i> )	0.57
Лютик едкий ( <i>Ranunculus acris</i> )	0.19
Гравилат речной ( <i>Geum rivale</i> )	0.38
Лапчатка прямая ( <i>Potentilla recta</i> )	0.0

Если мы рассмотрим состав древесных пород и травостоя (табл.4.1) и их соотношение, то увидим следующую картину: сосна занимает 91,4%, и является господствующей породой, берёза - 5,2%, тополь - 1,6%, клён - 1,5%, осина - 0,2%.

Из травостоя самые встречаемые виды на изученных площадках следующие: гвоздика дельтовидная, герань луговая, смолка липкая. Это самые характерные виды для описываемого сообщества.

#### 4.2 Фитоиндикация лесорастительных условий таксационными показателями древостоя Челябинского городского бора

Высота древостоя является важным показателем продуктивности леса. Она легко измеряется и используется для определения класса бонитета. Высота сосновых насаждений (рис. 4.1) у большего числа типов леса составляет около 25м. Минимальная высота - 18 м. Разница между максимальной и минимальной высотой составляет 7 м.

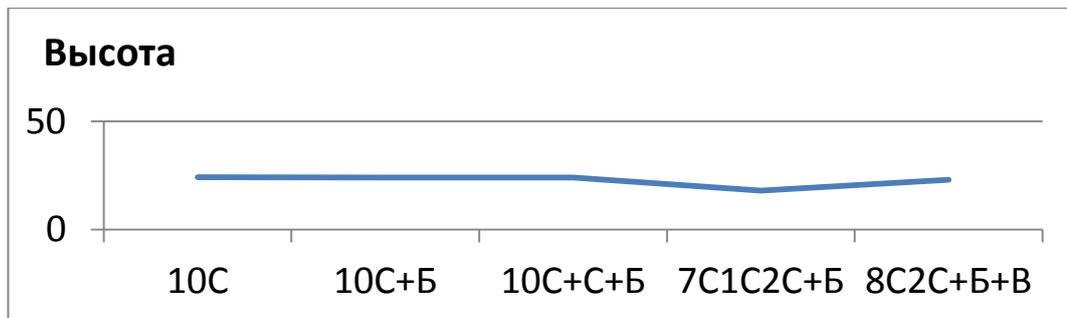


Рис.4.1. Распределение высоты (м) сосновых насаждений в зависимости от типа леса

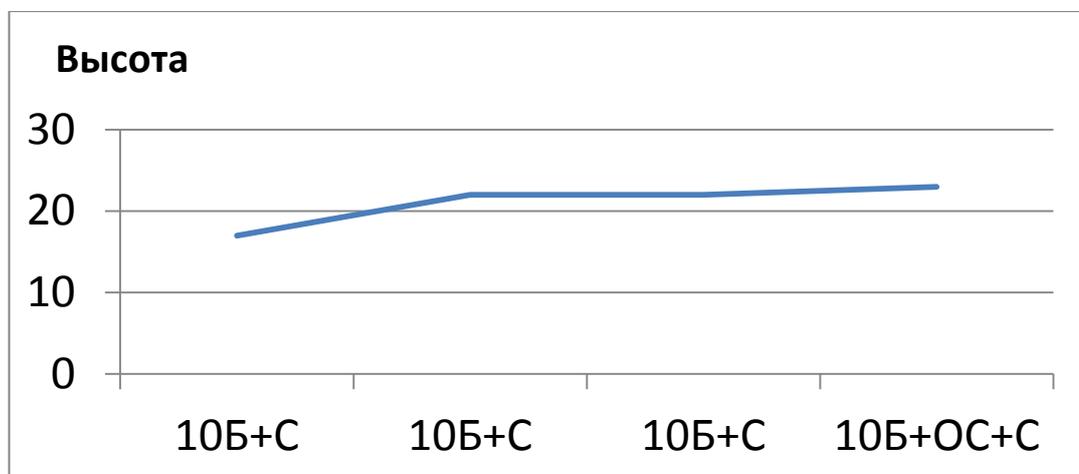


Рис. 4.2. Распределение высоты (м) березовых насаждений в зависимости от типа леса

Высота берёзовых насаждений (рис. 4.2) изменяется в пределах от 17 до 24 м. Этот показатель ниже, по сравнению с сосновым древостоем, что объясняется различием в лесорастительных условиях и биологическими особенностями вида.

В сосново-берёзовых насаждениях (рис. 4.3) амплитуда колебания высоты деревьев менее выражена чем в сосновых и берёзовых древостоях и изменяется в пределах от 18 до 24 м. У большинства типов смешанного леса она колеблется около значения 20 м. Таким образом, наиболее высокий древостой у сосновых насаждений, наименее - у сосново-берёзовых.

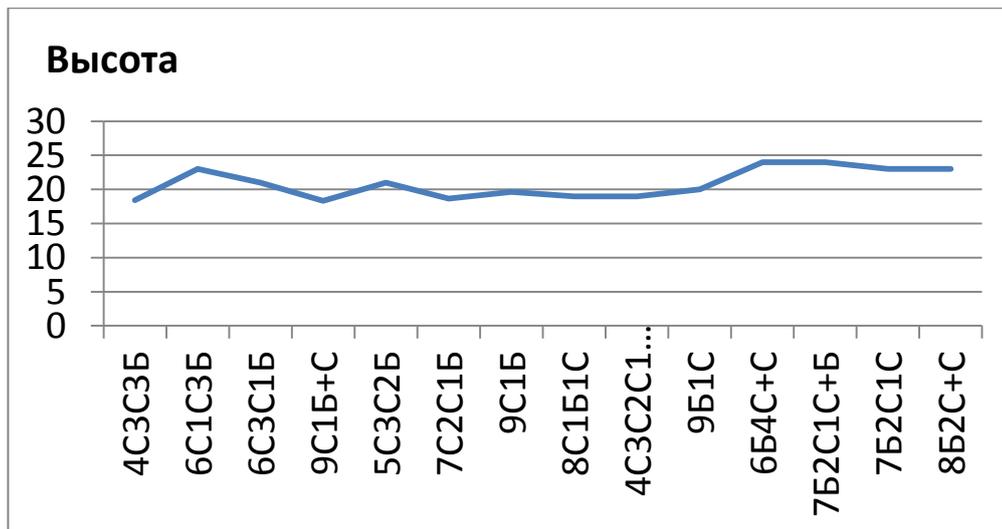


Рис.4.3. Распределение высоты (м) сосново-березовых насаждений в зависимости от типа леса

Диаметр ствола дерева также является важной таксационной характеристикой древостоя. Диаметр сосновых насаждений (рис. 4.4) имеет относительно большую амплитуду колебаний от 21 до 33 м. Самый высокий показатель соответствует типу леса 10С, самый низкий - 7С1С2С+Б.

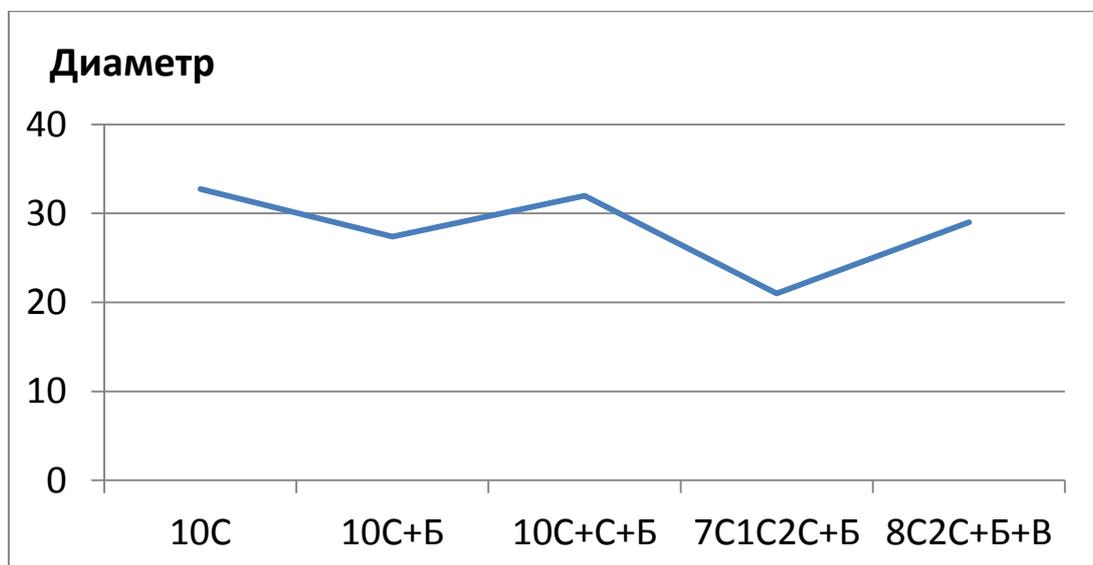


Рис.4.4. Распределение диаметра (см) сосновых насаждений в зависимости от типа леса

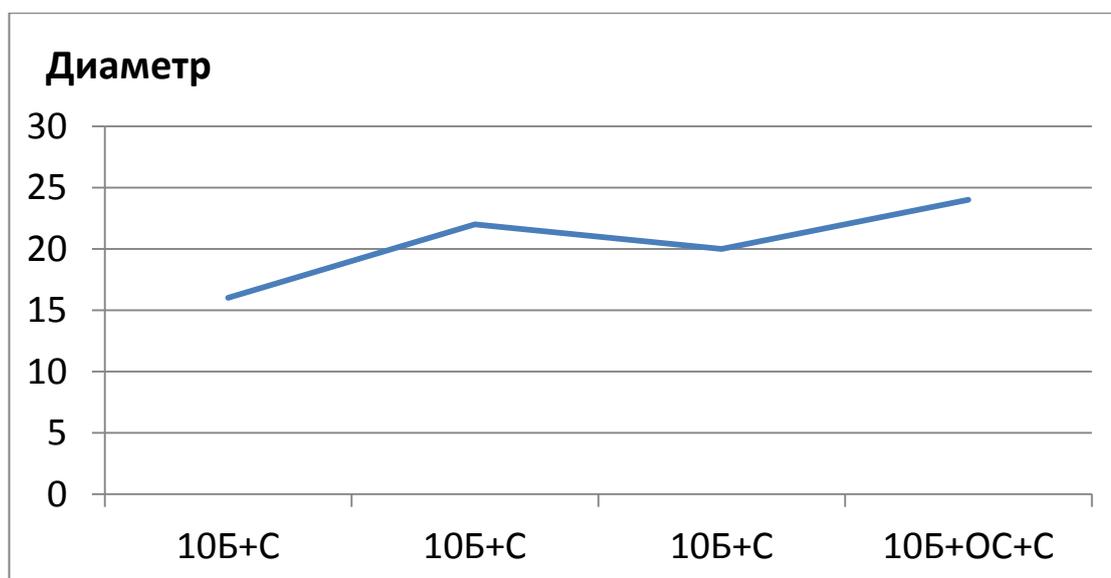


Рис. 4.5. Распределение диаметра (см) березовых насаждений  
в зависимости от типа леса

Диаметр берёзовых насаждений (рис.4.5) сильно изменяется в пределах от 16 до 24 м. Самый большой диаметр 24 м - у сложного березняка 10Б+ОС+С.

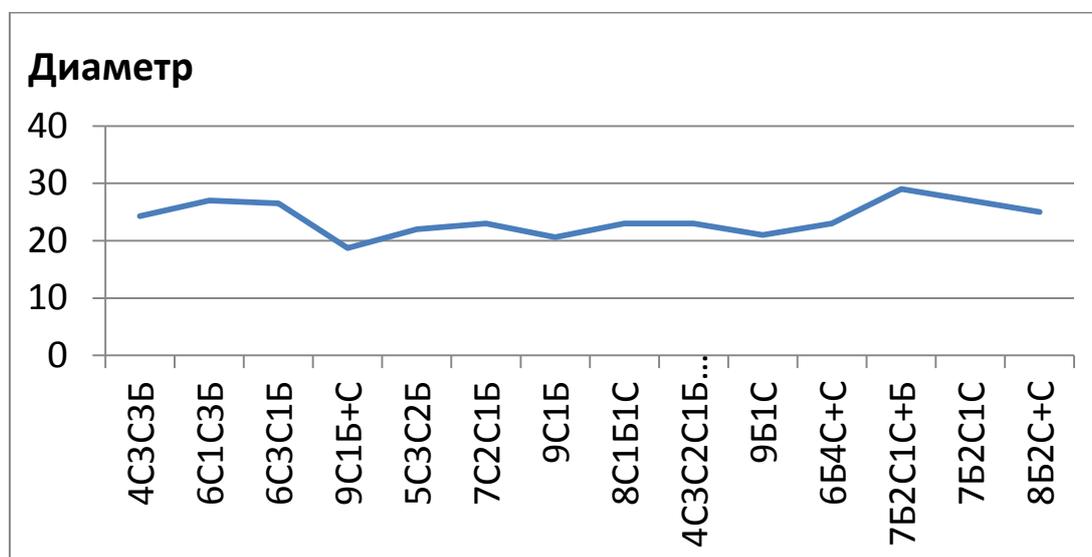


Рис. 4.6. Распределение диаметра (см) сосново-березовых насаждений  
в зависимости от типа леса

В сосново-берёзовых насаждениях (рис. 4.6) у большинства типов леса диаметр колеблется около величины 20 м, достигая максимума в 29 м у типа леса 7Б2С1С+Б и минимума у типа леса 9С1Б+С. Таким образом, наибольшим диаметром ствола обладают сосновые насаждения.

Для оценки производительности условий местообитаний насаждений было используется такая характеристика как класс бонитета лесных насаждений.

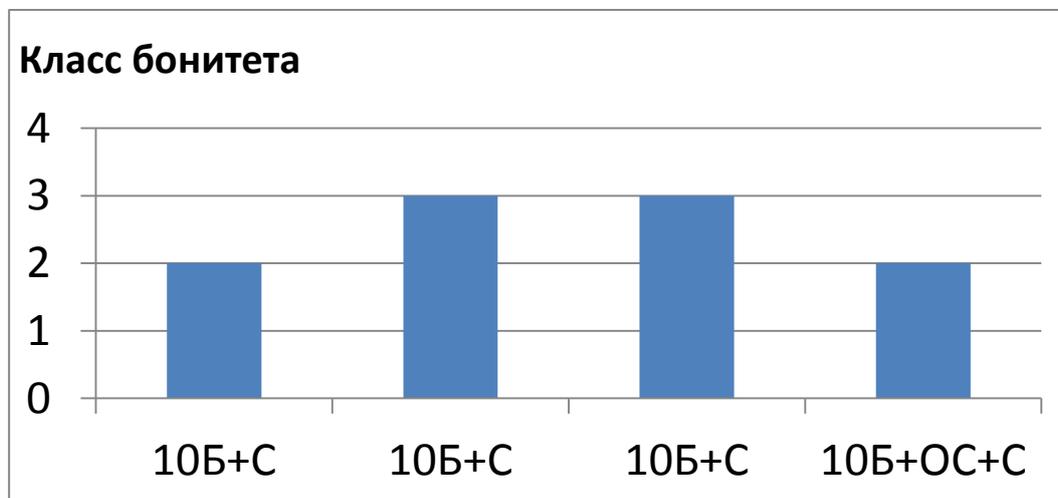


Рис. 4.7. Распределение типов берёзовых лесов по классам бонитета

В березняках (рис. 4.7) преобладают второй и третий классы бонитета, что говорит о средней продуктивности данного типа насаждения.

В сосновых древостоях (рис. 4.8) преобладает второй класс бонитета, что указывает на высокую продуктивность лесонасаждений данного типа. Высоко- и средне продуктивными являются сосново-берёзовые леса (рис. 4.9). В данных насаждениях распространёнными являются древостои с классами бонитета вторым и третьим.

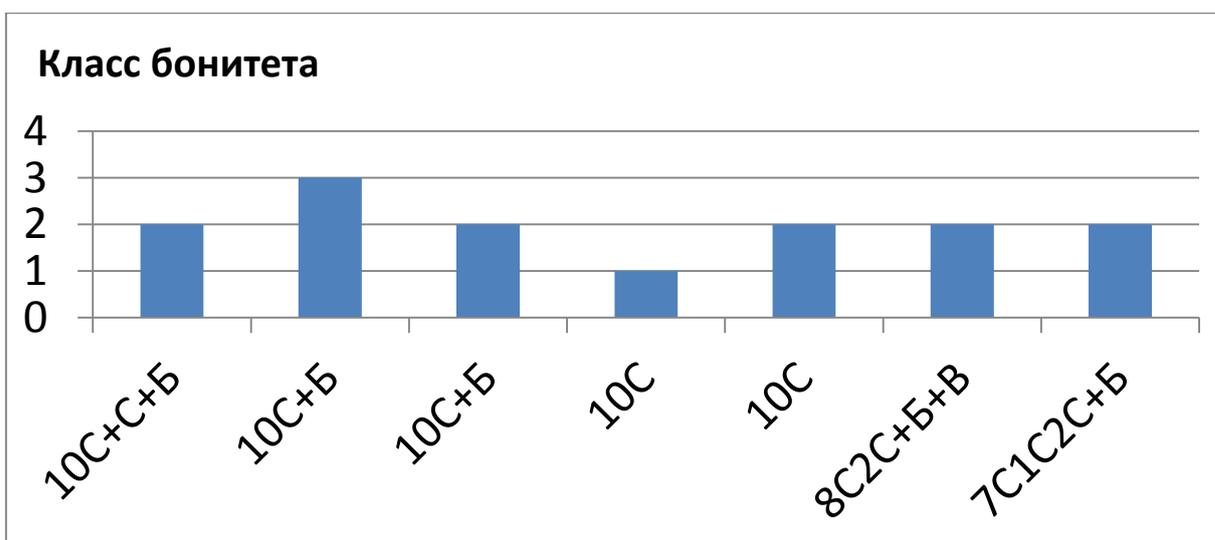


Рис. 4.8. Распределение типов сосновых лесов по классам бонитета

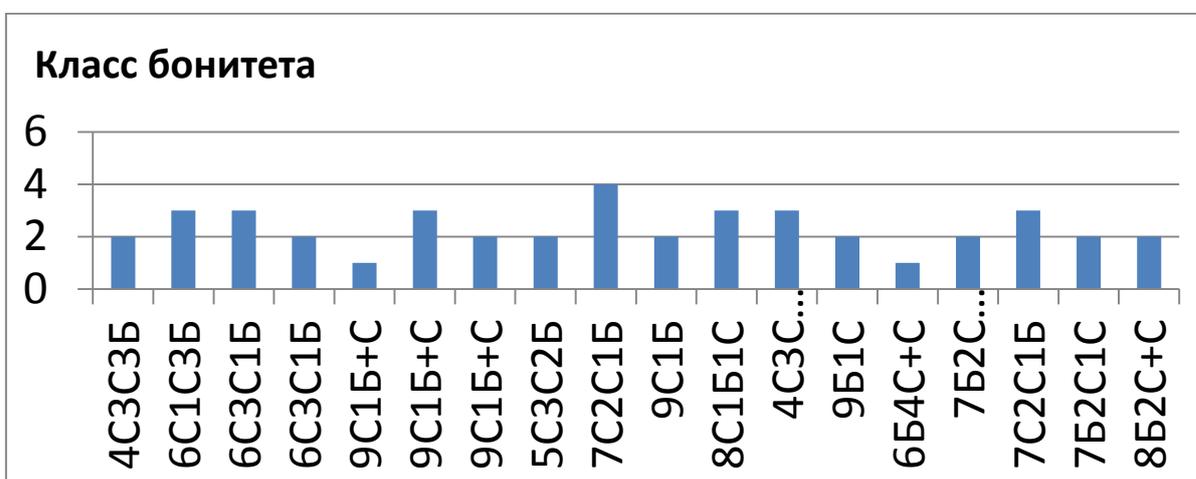


Рис. 4.9 Распределение типов сосново-берёзовых лесов по классам бонитета

#### 4.3 Фитоиндикация биотопов сосновых насаждений Челябинского городского бора

Несмотря на расположение в городской черте, Челябинский бор недостаточно изучен в эколого-типологическом плане. Данный подраздел посвящен оценке биотопов бора фитоиндикационными методами. Для оценки биотопов на территории бора закладывались пробные площадки в 52 выделах (Приложение 2, рис. 2), выбранных методом простого случайного отбора. Закладка площадок и описание растительности выполнялись согласно геоботаническим методикам. [16]

Традиционно в лесоведении оценка биотопов выполняется на основе выделения типов лесорастительных условий и типов леса. [12, 19, 24] с использованием фитоиндикационных методов.

В работе использовались унифицированные фитоиндикационные шкалы [27], соответствующие шкалам Цыганова [26] для режимов термо- (Тm) и криоклимата (Cr), почвенного увлажнения (Hd), солевого (Sl), азотного (Nt) и переменности увлажнения (fH), а также, шкалам Цыганова (с небольшой детализацией) соответствуют балльные оценки кислотного режима (Rc), континентальности (Kn) и омброрежима (Om). Шкала освещённости (Lc) является обратной шкале освещённости Цыганова. Шкала аэрации (Ae) соответствует одноимённой шкале Л.Г. Раменского [21], с небольшой детализацией.

Фитоиндикационная оценка биотопов проводилась методом «среднего балла» [27]. Классификация биотопов выполнялась по выделенным типам леса с учетом материалов последнего лесоустройства (2015г.). Ординация геоботанических площадок выполнялась методом неметрического многомерного шкалирования (NMS). [2, 28, 30]. Привязка выделенных осей ординации к факторам среды производилась непараметрическим корреляционным анализом [31] по показателю тау Кэндалла. Оценка классификации проводилась дискриминантным анализом [2, 28, 29] по алгоритму General Discriminant Analysis (GDA) Models статистического пакета Statistica v.10.

**Результаты и обсуждение.** Лесотипологические обследования показали наличие шести типов леса для обследованных лесохозяйственных выделов:

- 1) березняк осоково-лабазниковый (БОСЛБ),
- 2) березняк разнотравный (БРТР),
- 3) березняк ягодниковый (БЯГ),
- 4) сосняк мшисто-ягодниковый (СМШЯГ),
- 5) сосняк разнотравный (СРТР),

б) сосняк злаково-лишайниковый (СЗЛШ).

Анализ фитоиндикационных показателей обследованных биотопов (Приложение 1, табл. 1) указывает на невысокую вариабельность ведущих экологических факторов. Таким образом, данные фитоиндикации указывают на отсутствие значимых отличий выделенных типов леса Челябинского городского бора.

В целом методами фитоиндикации для обследованных биотопов определяются следующие режимы ведущих экологических факторов:

- почвенное увлажнение - сухо-лесной режим сплошного промачивания атмосферными осадками в весенний период, дефицитом влаги во второй период лета и уровнем грунтовых вод ниже 5 - 7 м;
- неравномерное увлажнение корнеобитаемого горизонта при незначительном его промачивании осадками;
- слабокислые не богатые солями подзолистые почвы, бедные минеральным азотом с незначительным содержанием карбонатов и высоко аэрированные;
- климатопы суббореальные, семигумидные континентального типа с умеренно суровыми зимами.

Оценка классификации описаний дискриминантным анализом подтвердила правильность выделения лесотипологических единиц.

Ординация описаний в осях дискриминантных функций (канонический анализ по критерию хи - квадрат указывает на статистически достоверное выделение двух осей) позволяет выделить четкий ряд эколого-ценотического замещения от березняков до сосняков (Приложение 1, табл. 2). При этом распределение величин центроидов указывает на существование трех резко различающихся между собой экологических групп в ряду замещения: березовые типы, сосновые и отдельная группа березняков осоково-лабазниковых, не укладывающаяся в ординационный ряд. Расположение выделенных типов леса непосредственно в пространстве абиотических факторов (Приложение 1, табл. 3) свидетельствует об отсутствии отличий

лесорастительных условий для обследованных типов леса: по абиотическим факторам характеристики типов леса практически идентичны. Центроиды типов леса в ценотических осях (NMS1 и NMS2) различаются очень четко, что указывает на ординацию биотопов не по абиотическим факторам среды, а по ценотической структуре лесных экосистем.

Ординация обследованных биотопов в пространстве осей неметрического многомерного шкалирования подтверждает выше изложенное. Достоверно определяются две оси ценотической ординации (NMS1, NMS2). При этом в пространстве выделенных осей биотопы формируют две достаточно четкие обособленные ценотические группы (Приложение 2, рис. 1) – березняки (верхний левый угол) и сосняки. Отдельную группу формируют смешанные хвойно-лиственные древостои типа леса злаково-лишайниковых сосняков (правая часть диаграммы). Березовые и сосновые типы леса и сосняки разнотравные образуют два совмещенных ряда ценотического замещения.

Таким образом, выделенные лесоводственно-типологическими методами типы леса характеризуются однообразными экотопическими условиями, но при этом формирующиеся в этих лесорастительных условиях насаждения показывают четкие различия в ценотической структуре, связанные преимущественно со второй осью ординации (NMS2).

Идентификация осей неметрического многомерного шкалирования (Приложение 1, табл. 4) показала сложный характер влияния биотопических условий на формирование ценотической структуры лесных сообществ бора. Однозначно, биотопические факторы, определяющие ценотическую ординацию лесных сообществ, не выделяются. При этом, исходя из особенностей корреляции показателей экологических факторов с величинами неметрического многомерного шкалирования, можно сделать вывод, что определяют экологическую структуру прежде всего формирование более плотного полога леса (нарастание затенения) при увеличении атмосферного увлажнения (NMS1) и нарастание почвенного увлажнения при росте терморегима (NMS2). Таким образом, ведущими факторами формирования ценотической структуры лесных

насаждений Челябинского городского бора являются условия увлажнения (почвенного и атмосферного), терморезим и освещенность, определяемая строением лесного полога. Первые три фактора для Челябинского городского бора определяются мягко-увалистым рельефом территории бора с пологими склонами отдельных холмов.

**Выводы.** Результаты исследований приняты к публикации в журнал «Вестник Тамбовского Государственного Университета; серия «Естественно-технические науки» (2017 г. №5). Журнал включен в перечень ВАК, индексируется РИНЦ.

Ведущими абиотическими факторами, влияющими на формирование растительного покрова Челябинского городского бора, являются атмосферное и почвенное увлажнение и терморезим, определяемые особенностями рельефа, а также условия освещенности, связанные со структурой лесного полога.

Выделенные лесоводственно-типологическими методами типы лесов Челябинского городского бора не вполне отвечают особенностям формирования лесных экосистем и не могут служить в качестве основы для оценки влияния абиотических факторов. Необходимы более детальные исследования биотопов бора и классификация биотопов прежде всего на основе особенностей рельефа.

Биотопы Челябинского городского бора практически не отличаются по режимам абиотических факторов, разнообразие лесных экосистем определяется прежде всего ценотическими особенностями сложившихся лесных сообществ и внутриценотическими биотическими взаимодействиями. При этом выделенные лесоводственно-типологическими методами типы лесов характеризуют прежде всего ценотическую структуру растительности бора.

## Заключение

Лесотипологическим обследованиям подвергались три типа древостоя: сосновые насаждения, березняки и сосново-берёзовые леса. В данных лесных насаждениях были проведены измерения трёх фитоиндикационных показателей: высота дерева, диаметр ствола и определены классы бонитета.

Анализ классов бонитета исследуемых биотопов показывает, что преимуществом по древесной продуктивности обладают сосновые насаждения по сравнению с березняками и сосново-берёзовыми лесами. Физический смысл древесной продуктивности раскрывается через величину текущего прироста в высоту и толщину. Анализ фитоиндикационных показателей обследованных биотопов указывает на высокую связь между диаметром и высотой насаждений. Наибольшие значения данных параметров выявлены в сосновых лесах, в которых прослеживается прямая зависимость между высотой дерева и его толщиной. Наименьшими показателями высоты и диаметра древостоя обладают смешанные сосново-берёзовые леса. Данный факт, возможно, объясняется остротой межвидовой конкуренции двух светолюбивых пород - сосны и берёзы, ослабляющей оба вида.

Ведущими абиотическими факторами, влияющими на формирование растительного покрова Челябинского городского бора являются атмосферное и почвенное увлажнение и терморезим, определяемые особенностями рельефа, а также условия освещенности, связанные со структурой лесного полога

Выделенные лесоводственно-типологическими методами типы лесов Челябинского городского бора не вполне отвечают особенностям формирования лесных экосистем и не могут служить в качестве основы для оценки влияния абиотических факторов. Необходимы более детальные исследования биотопов бора и их классификация прежде всего на основе особенностей рельефа.

Биотопы Челябинского городского бора практически не отличаются по режимам абиотических факторов. Разнообразие лесных экосистем определяется ценоотическими особенностями сложившихся лесных сообществ и

внутриценотическими биотическими взаимодействиями. При этом выделенные лесоводственно-типологическими методами типы лесов, характеризуют прежде всего ценотическую структуру растительности бора.

## Литература

1. Алехин В. В. Методика полевого изучения растительности и флоры. – М.: Изд-во Наркомпроса СССР, 1933. - 208 с.
2. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. Пер. с англ. под ред. А.Н. Гельфана, Н.М. Новиковой, М.Б. Шадринной. М.: РАСХН, 1999. - 306 с.
3. Ашихмина Т.Я. Школьный экологический мониторинг. Изд-во «Агар», 2000. - С.80 - 83.
4. Берлянт А. М. Картография: Учебник для вузов. - М.: Аспект Пресс, 2002. – 150 с.
5. Булохов А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации. -Брянск: БГПУ, 1996. - 104 с.
6. Булохов А.Д. Фитоиндикация и ее практическое применение. Брянск: Изд-во БГУ, 2004. - 245 с.
7. Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. - Л.: Наука, 1969. - 232 с.
8. Викторов С.В. Индикация природных процессов // Теоретические вопросы индикации. Л.: Наука, 1971. - С.62 - 70.
9. Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника: Уч. пособие. - М.: МГУ, 1968. - 168с.
10. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. - М: МГУ, 1990. - 197с.
11. Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных процессов. М.: Высш. Школа, 1964. - 327с.
12. Воробьев Д.В. Типы лесов Европейской части СССР. К.: Изд-во АН УССР, 1953. - 452 с.
13. Горохова В.В. и др. Изучение региональных флор в связи с задачами сохранения биологического разнообразия (на примере Ярославской области). // Биоразнообразие Верхневолжья: современное состояние и

проблемы сохранения. - Материалы регион. науч.-практ. конференции. Ярославль, 2004.

14. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды РБ в 2007 году. Уфа, 2008. - С.67, 127.

15. З.Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. М., «Лесная промышленность», 1977. - 96 с.

16. Методы изучения лесных сообществ. СПб: НИИХимии СпбГУ, 2002. - 240 с.

17. Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. Фитоценология: Принципы и методы. - М.: Наука, 1978. - 211 с.

18. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/izmenenie-sosnovykh-biogeotsenozov-zony-shirokolistvennykh-lesov-pri-khronicheskom-vozdeistv#ixzz4kJNGJYXu>

19. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. К.: АН УССР, 1955. - 456 с.

20. Памятники природы Челябинской области: [Сб./Сост. А.П. Моисеев, М.Е. Николаева]. - Челябинск: Юж.-Урал. Кн. Изд-во, 1987г - 256с, ил. - («Природа и мы»)

21. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

22. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. - М.: Наука, 1984. - 265 с.

23. 4.Сенов С.Н. Лесоводство. Методические указания по дипломному проектированию для студентов направления 250100 и специальностей 250201, 560900. Санкт-Петербург, 2008. – С.

24. Сукачев В.Н. Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 104 с.

25. Уранов А. А. Вопросы изучения структуры фитоценозов и видовых ценопопуляций // Ценопопуляции растений : сборник. - М.: Наука, 1977. - Т. 2. - С. 7-20

26. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических факторов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 198 с.
27. Didukh, Ya.P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre, 2011. 176 p.
28. McCune B, Grace J. B. Analysis of Ecological Communities. MjM SoftWare Design, 2002. 300 p.
29. McLachlan, G.J. Discriminant analysis and statistical pattern recognition. Wiley-Interscience: Hoboken, 2004. 580 p.
30. Legendre L., Legendre P. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1998. 853 p.
31. Persson S. Ecological indicator values as an aid in the interpretation of ordination diagrams // Journal of Ecology. 1981. Vol. 69, № 1. P. 71 - 84.
32. <http://dendrology.ru/books/item/f00/s00/z0000011/st008.shtml>

## Приложение 1

*Таблица 1*

### Фитоиндикационная характеристика биотопов Челябинского городского бора (баллы)

Показатель	Фактор											
	hd	fh	rc	sl	Ca	nt	ae	tm	om	Kn	Cr	lc
Среднее	10,6	6,2	7,1	6,6	7,1	4,6	6,3	8,0	13,4	9,3	7,3	7,0
Медиана	10,7	6,2	7,1	6,6	7,1	4,6	6,3	7,9	13,4	9,3	7,4	7,0
Мода	10,7	6,2	7,0	6,6	7,1	4,6	6,3	7,9	13,5	9,2	7,4	6,9
Стандартное отклонение	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Интервал	0,7	0,5	0,2	0,8	0,5	0,9	0,5	0,8	1,0	0,4	0,6	0,7
Минимум	10,4	5,9	7,0	6,4	6,8	4,5	6,2	7,8	12,6	9,0	7,2	6,4
Максимум	11,1	6,3	7,2	7,2	7,3	5,4	6,6	8,6	13,6	9,4	7,8	7,0

*Таблица 2*

### Центроиды обследованных типов леса Челябинского городского бора в эколого-ценотических осях

	СЗЛШ	БРТР	СРТР	БЯГ	СМШЯГ	БОСЛБ
1 дискриминантная ось	-0,8	5,4	-0,5	6,3	-0,4	-26,5
2 дискриминантная ось	-1,3	3,3	-0,5	4,3	-1,1	7,2

*Таблица 3*

### Центроиды обследованных типов леса Челябинского городского бора в пространстве экологических факторов

Тип леса	Фактор													
	NMS 1	NMS 2	hd	fh	rc	sl	Ca	nt	ae	tm	om	Kn	Cr	lc
СЗЛШ	0,4	-0,3	10,6	6,2	7,1	6,7	7,1	4,7	6,3	8,0	13,3	9,4	7,4	6,9
БРТР	-0,4	1,0	10,7	6,2	7,1	6,6	7,0	4,6	6,2	8,2	13,3	9,3	7,2	7,0
СРТР	-0,1	-0,1	10,6	6,2	7,1	6,6	7,1	4,6	6,3	8,0	13,4	9,3	7,3	7,0
БЯГ	-0,5	1,3	10,7	6,2	7,1	6,6	7,1	4,6	6,2	8,2	13,2	9,3	7,2	7,0
СМШЯГ	0,3	-0,5	10,6	6,2	7,1	6,6	7,1	4,6	6,3	7,9	13,5	9,3	7,4	7,0
БОСЛБ	-1,1	1,0	10,8	6,2	7,2	6,7	7,1	4,7	6,4	8,1	13,1	9,3	7,2	7,0

Идентификация осей ординации лесных насаждений  
Челябинского городского бора\*

Ось	Фактор											
	hd	fh	rc	sl	Ca	nt	ae	tm	om	Kn	Cr	lc
NMS1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>-0,4</b>	<b>0,6</b>	-0,1	<b>0,4</b>	<b>-0,7</b>
NMS2	<b>0,5</b>	<b>-0,4</b>	0,0	<b>0,4</b>	<b>-0,2</b>	0,1	-0,1	<b>0,7</b>	<b>-0,6</b>	-0,2	<b>-0,6</b>	<b>0,4</b>

Примечание: полужирным выделены статистически значимые величины

## Приложение 2

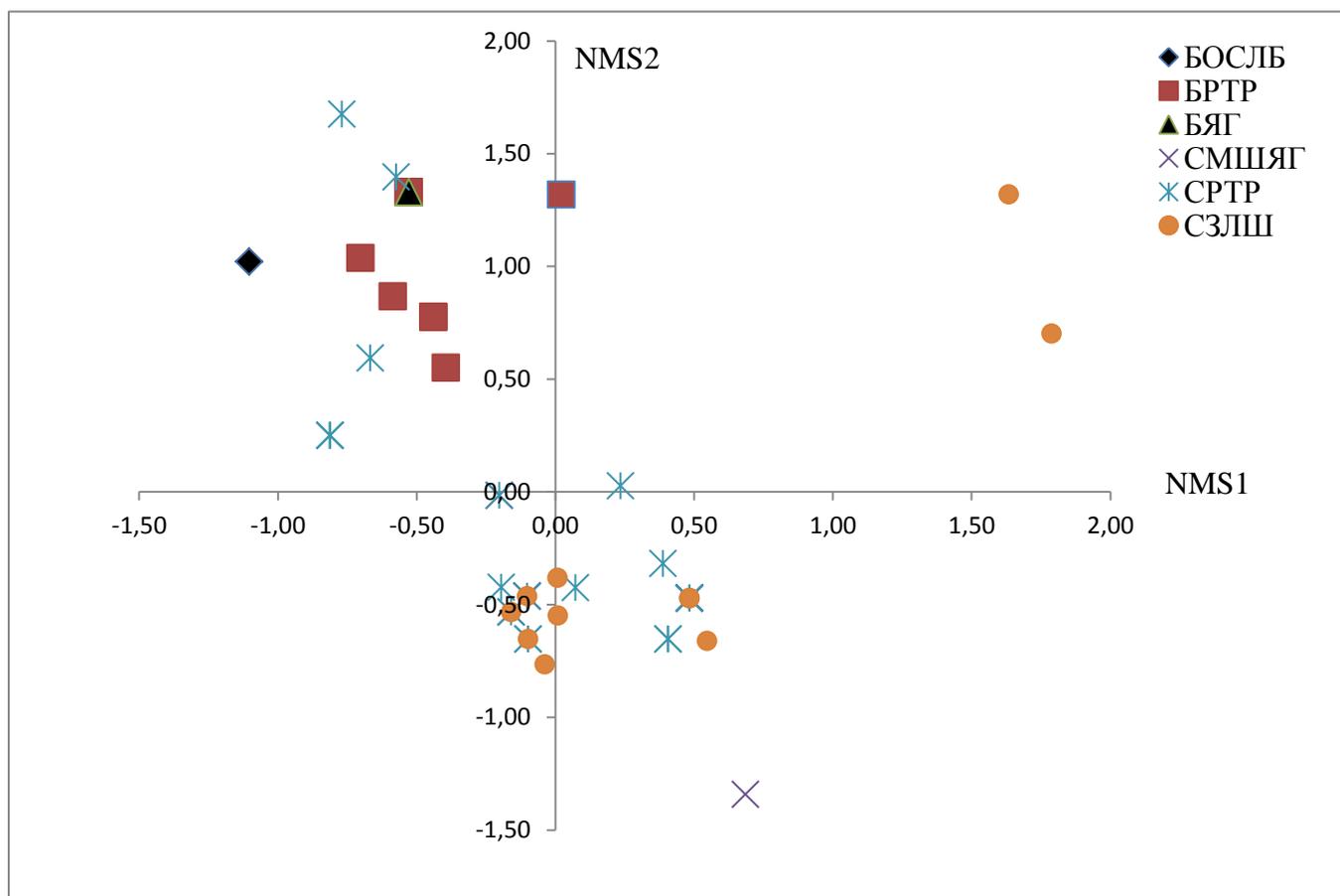


Рис. 1. Ординация биотопов в осях неметрического многомерного шкалирования

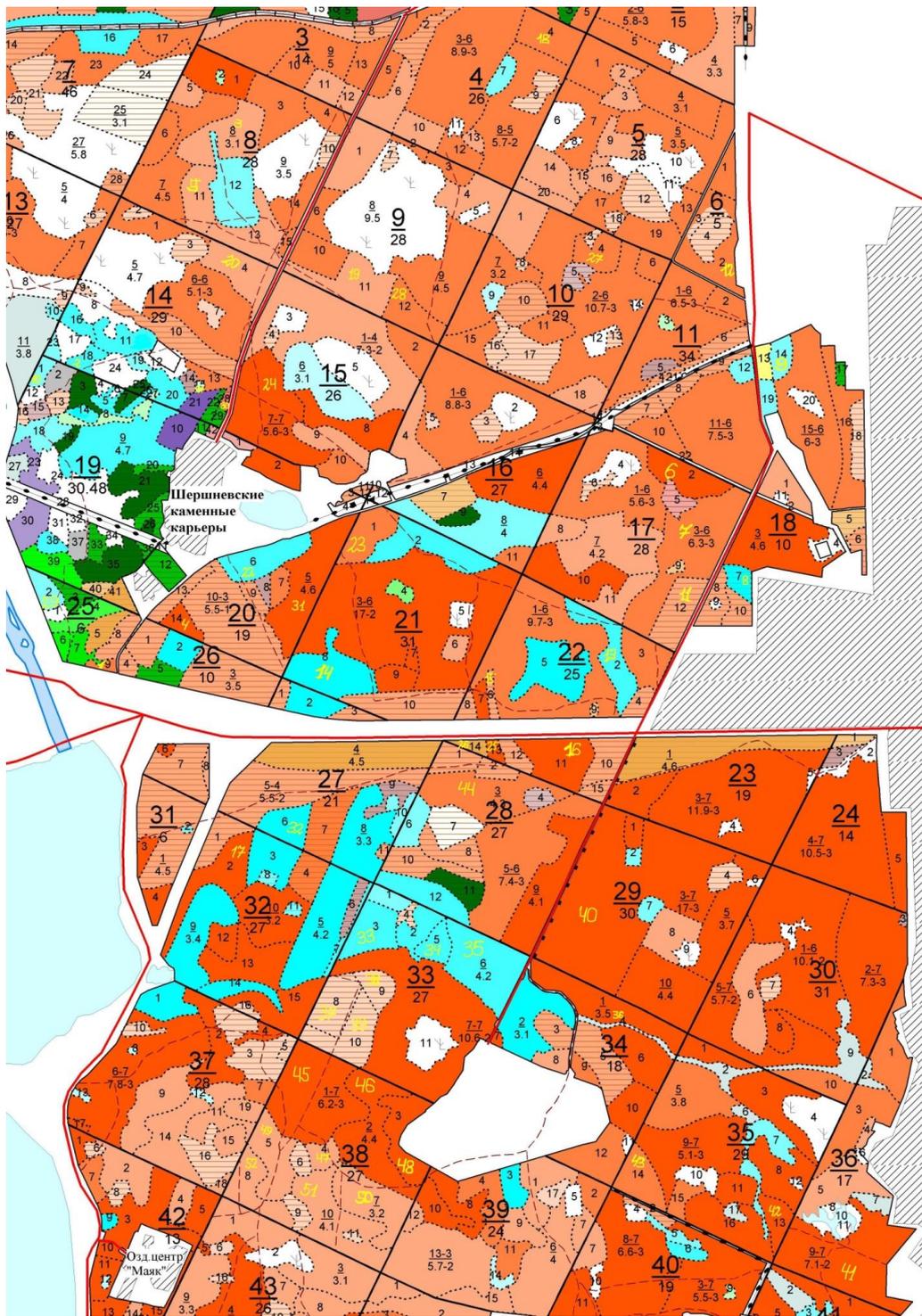


Рис. 2. Карта расположения исследуемых пробных площадок