

Электронный архив УГЛТУ



# ОСНОВЫ ФИТОМОНИТОРИНГА



Электронный архив УГЛТУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

# **ОСНОВЫ ФИТОМОНИТОРИНГА**

Учебное пособие

Издание 3-е,  
дополненное и переработанное

Екатеринбург  
2020

УДК 630.182.59

ББК 41.2

О753

Рецензенты:

кафедра лесоводства Башкирского государственного аграрного университета; зав. кафедрой Султанова Р. Р., д-р с.-х. наук, профессор;  
Петрова И. В., директор ФГБУ «Ботанический сад УрО РАН»,  
д-р биол. наук, профессор

Авторы: Н. П. Бунькова, С. В. Залесов,  
Е. С. Залесова, А. Г. Магасумова,  
Р. А. Осипенко

О753      **Основы фитомониторинга** : учеб. пособие ; изд. 3-е, дополненное и переработанное / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова, А. Г. Магасумова, Р. А. Осипенко. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 90 с.

ISBN 978-5-94984-727-5

В представленной работе на основании литературных данных и материалов собственных исследований предложена методика сбора материала, его обработки и анализа при проведении мониторинга. Особое внимание уделено установлению сходства и различия объектов мониторинга, основанного на методе постоянных пробных площадей. Использование предлагаемых рекомендаций позволит осуществлять фитомониторинг на достаточно высоком научном уровне и облегчит работу исследователей в плане выбора конкретной методики изучения компонентов лесного сообщества.

Учебное пособие окажет помощь обучающимся в высших и средних учебных заведениях биологического профиля в освоении курсов «Ботаника», «Лесоведение», «Фитоценология», а также представляет интерес для аспирантов и практиков–лесоводов и экологов.

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 630.182.59

ББК 41.2

ISBN 978-5-94984-727-5

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2020

© Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова,  
А. Г. Магасумова, Р. А. Осипенко, 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим методом получения информации о состоянии природных объектов и их изменениях от различных внешних воздействий является мониторинг. Само понятие мониторинга означает систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями. Система мониторинга состоит из **наблюдения, анализа и прогнозирования** состояния природной среды. Центральное звено мониторинга – анализ (оценка) современного состояния природных объектов – невозможно без наблюдения, получения фактического материала. Применительно к лесным экосистемам **наблюдение, анализ и прогнозирование** означают получение информации о лесных сообществах с использованием определенных методик сбора полевого материала, анализа и обработки данных и создание на этой основе прогнозов о динамике лесных биогеоценозов.

Система наблюдения за любыми растительными сообществами невозможна без изучения их состава и структуры, другими словами, без получения фактических данных о количестве видов, степени их развития и распределения по территории сообщества, о жизненных формах, ярусности, обилии и покрытии и др. Только имея все эти данные, исследователь может сравнивать разные фитоценозы, выявлять сходство и различие, т.е. анализировать состояние сообществ.

Цель данной работы – дать представление об основных способах сбора данных, методах их обработки и анализа, применяемых в лесоводческих и геоботанических исследованиях.

## Глава 1

### РАСТИТЕЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ

Принято считать, что представление об общественной (или, как говорили раньше, социальной) жизни растений зародилось в недрах ботанической географии, которая развивалась в XIX столетии западноевропейскими ботаниками. Однако с этим можно согласиться в отношении формирования этого учения только в Западной Европе. В нашей стране оно возникло под влиянием идей не только западноевропейских ботаников-географов, но главным образом идей В. В. Докучаева о комплексном изучении природы и представлении русских лесоводов и луговодов второй половины XVIII и начала XIX столетий о совместной жизни растений. Поэтому наше учение о растительных сообществах с самого своего зарождения значительно отличается от зарубежного общей практической направленностью, рядом теоретических положений и методами исследования (Сукачев, 1954, 1975; Сукачев, Зонн, 1961).

Растительный покров любой местности редко остается однообразным на значительном пространстве. Обычно мы видим пеструю картину смены ландшафтов: лес, луг, болото и другие типы растительности в том или ином сочетании чередуются друг с другом. Растительный покров слагается из целого ряда определенных группировок растений. Эти группировки и получили название растительных сообществ (фитоценозов), а часть ботаники, изучающая их, – фитоценологии.

Распределение растений на известной территории есть следствие взаимодействия факторов, лежащих внутри и вне растений. И так как условия существования, комбинируясь различным образом, дают возможность расчленить поверхность земли на ряд типов условий местопроизрастания, то и растительность этой территории может быть сведена к ряду определенных комбинаций растений, к так называемым растительным ассоциациям, более или менее соответствующим типам условий местопроизрастания. Распределение ассоциаций находится в самой тесной зависимости от рельефа. Поэтому и наблюдается такая тесная связь между распределением растительных ассоциаций и типами рельефа. Растительная ассоциация является основной единицей фитоценологии – науки о растительных сообществах. Различные научные школы дают разное определение ассоциации и используют разные принципы ее выделения. В данной работе мы принимаем определение ассоциации, данное В. Н. Сукачевым

(Сукачев, 1954, 1975), как наиболее близкое пониманию типа леса: «...растительная ассоциация, или тип фитоценоза, объединяет фитоценозы, характеризующиеся однородным составом, строением и в основном одинаковым сложением составляющих ее синузий и имеющие одинаковый характер взаимодействий как между растениями, так и между ними и средой». Другими словами, растительной ассоциацией называется группа растений, которая имеет организацию, представляет собой нечто целое, характеризуется определенными чертами внутреннего строения и находится в определенной связи с условиями существования.

Известно, что сообщество растений характеризует условия среды более точно, чем отдельно взятые виды растений. Ухудшение условий среды обнаруживается:

- на уровне ценозов – как смена состава и структуры (исчезновение наиболее чувствительных видов, смена доминантов, появление и процветание видов, ранее не отмечавшихся или не игравших заметной роли, и др.);

- на уровне организмов – как снижение жизненности, некрозы, морфологические аномалии;

- на уровне органов и тканей – как накопление элементов.

Изменение состава и структуры фитоценозов может быть описано феноменологически, а также выражено через индексы: видовое разнообразие, дефицит видов, для чувствительных видов фиксируют присутствие – отсутствие, обилие, жизнестойкость, некрозы; относительно выносливые служат для определения нагрузки накопления. Многие современные методические указания нуждаются в уточнении, например, возможности использования индексов разнообразия, поскольку существует предположение, что они могут быть менее точными в сравнении с оценками встречаемости.

Особый интерес исследователи проявляют в отношении контроля реакции растительности на антропогенные воздействия. Загрязнения воздуха и почв индицируются с помощью видов-индикаторов. Показателями загрязнения могут быть изменение состава, структуры и продуктивности сообществ, снижение жизненности и характерные морфологические изменения растений. Изучая распространение видов растений, обладающих разной устойчивостью к загрязнению, выявляют и картируют зоны загрязнения.

## Глава 2

# МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

### 2.1. Понятия мониторинга. Биоразнообразие

Мониторинг (от лат. *monitor* – напоминающий, надзирающий) в фитоценологии – система наблюдений и экспериментов, ориентированных на оценку состояния растительных сообществ, находящихся под антропогенным воздействием. Задача мониторинга состоит в том, чтобы своевременно сигнализировать о всех случаях превышения допустимых антропогенных нагрузок на растительность, приводящих к снижению устойчивости фитоценозов и их биологической продуктивности. По масштабу экосистем различают *локальный, региональный и глобальный* мониторинг. Локальные изменения растительности под воздействием человека вскрываются методами прямых измерений физиологического состояния отдельных особей. При региональном мониторинге основными объектами выступают популяции растений, фитоценозы и типы растительных сообществ (фитоценоны). Региональный мониторинг растительности осуществляется всевозможными методами изучения демографии растений, координации, классификации, геоботанической индикации. Региональный мониторинг позволяет установить, как изменяется общее синтаксономическое разнообразие растительности (бета-разнообразие), как изменяется соотношение площадей разных синтаксонов, как изменяются другие признаки синтаксонов (видовое богатство, структура растительности и пр.). На эти данные накладываются наблюдения за биологической продуктивностью, синдинамикой и пр. Глобальный мониторинг осуществляется на уровне высших единиц классификации растительности (союзы, порядки, классы) и биомов. Ведущими методами глобального мониторинга становятся методы аэро- и космической фотосъемки пространственно больших экосистем. Система мониторинга поставляет первичную информацию для экологического прогнозирования.

Биологическое разнообразие (биоразнообразие) – разнообразие живых организмов, связанное с разными уровнями организации жизни. Каждый из существующих структурных уровней (молекулярный, генетический, клеточный, организменный, популяционный, экосистемный, биосферный) обладает своим, свойственным только ему биоразнообразием. Согласно принципу иерархии при переходе

с низшего структурного уровня на высший появляются новые, не существующие прежде свойства (эмерджентные свойства), проявляющиеся в новом биоразнообразии. Поэтому в биоразнообразии также можно выделять разные уровни: генетическое, биохимическое, видовое и таксономическое, экосистемное, биомное (Лебедева и др., 2004). Таким образом, биоразнообразие общее, биосферное, свойственное биосфере Земли в целом, складывается из биоразнообразия отдельных структурных уровней, из чего следует, что целостность биосферы, ее устойчивость зависят от разнообразия жизни на всех уровнях ее организации, а сокращение разнообразия на одном из уровней приводит к снижению биосферного разнообразия и снижению устойчивости биосферы. Так, нарушение природной мозаичности лесных сообществ является главной причиной сокращения биоразнообразия лесов. Применяемые в лесном хозяйстве выборочные рубки и рубки ухода, создание смешанных лесных культур, сохранение местообитаний редких и ценных растений способствуют формированию разновозрастной мозаики окон возобновления и снижают опасность сокращения биоразнообразия леса, повышают устойчивость лесных сообществ.

Оценка биоразнообразия важна не только для формирования представлений об экосистеме в настоящий момент, но и для выяснения динамических тенденций и прогнозирования возможных изменений в будущем.

### **2.2. Мониторинг древесной растительности**

Растительный покров – компонент экосистем, элемент ландшафта, имеющий огромное значение в их формировании и динамике. Растительность служит индикатором почвенных разностей – ее изменение чаще всего связано с изменением физических и химических свойств почв. Состояние растительного покрова в значительной мере определяет состав и количество животного населения. В лесных экосистемах основным компонентом является древостой, от таксационных показателей которого во многом зависят показатели других ярусов растительности.

Основным методом мониторинга лесных экосистем является метод постоянных пробных площадей (ППП). Постоянной пробной площадью называют часть лесного участка, подвергающуюся периодически перечислительной таксации и используемую в качестве эталона (Анучин, 1971). Методической основой закладки ППП служит ОСТ 56-69-83.



При выборе места для закладки ППП проводится тщательное обследование выдела. Выделяется наиболее характерное место, отвечающее предъявленным требованиям и задачам исследований. Оно должно быть в своих пределах однородным по лесоводственно-таксационным показателям. Древостой ППП должен иметь одинаковый состав, полноту, сомкнутость крон, историю хозяйственного воздействия и другие признаки.

По форме ППП могут быть прямоугольными, квадратными, ленточными и круговыми. Предпочтительнее прямоугольная форма, однако допускается и сложная форма, особенно если выдел незначителен по площади. Для максимального устранения влияния бокового освещения со сторонами поля, дороги, линии электропередач и других не покрытых лесной растительностью площадей ППП закладываются на расстоянии 30 м от них, если изучение специфики влияния этих открытых пространств не является предметом исследований.

В натуре все ППП отграничиваются визирами и закрепляются по углам столбами установленной формы, на которых надписывают номер ППП, ее размер (в гектарах), год закладки. На щеках столбов ППП отмечается также ее назначение и годы проведения повторных исследований. При отграничении ППП визирами затески делают только у деревьев, примыкающих к пробе с внешней стороны. Деревья, произрастающие на линии границы ППП, отмечаются затесками с двух сторон по направлению граничного визира и при дальнейшем перечете учитываются в половинном количестве. Отвод ППП в натуре проводится с использованием буссоли, теодолита или экера. Границы ППП измеряются мерной лентой с точностью до 0,1 м. Каждая ППП должна быть «привязана» к квартальным столбам, пересечениям дорог и другим четко и легко определяемым постоянным ориентирам, а также иметь абрис.

Варьирование диаметров в таежных древостоях колеблется в широких пределах – от 25–30 % в спелых древостоях до 50–55 % в молодняках. Зная средний диаметр древостоя, можно легко определить необходимое количество деревьев на ППП для достижения заданной точности (табл. 1). Примерный средний диаметр древостоя легко устанавливается глазомерно. При отводе ППП в натуре для обеспечения необходимого количества деревьев ППП ограничивают визирами с трех сторон, а четвертую не закрывают до окончания перечета, т.е. пока в перечете не окажется нужное количество деревьев. Площадь ППП обычно составляет 0,5–1,0 га в спелых древостоях и 0,25 га в молодняках.

Таблица 1

Необходимое минимальное количество основного элемента леса на ППП при различном среднем диаметре древостоя

Средний диаметр древостоя, см	Коэффициент изменчивости диаметра, %	Количество деревьев на ППП, шт.
4	55	550
6	52	500
8–10	45–48	400
12–14	38–42	300
16–20	31–35	300
22 и более	27–30	150

В зависимости от поставленной цели объем работ на ППП может быть различен: от простого измерения диаметров и высот деревьев до детальной характеристики каждого дерева и изучения других компонентов насаждения. При изучении влияния лесохозяйственных мероприятий, проведенных в лесу, ППП обычно делится на контрольную и рабочую секции. При этом количество деревьев, оставляемых на доращивание после проведения лесохозяйственного мероприятия (рубок ухода, например), должно обеспечивать заданную (2–3 %) точность определения среднего диаметра.

Кроме угловых столбов, на ППП устанавливаются столбы меньших размеров на всех углах секций. В отдельных случаях ППП обносят изгородью или окапывают мелкой канавой. При закладке многосекционной ППП между секциями необходимо оставлять буферные полосы шириной 10–30 м во избежание влияния лесохозяйственного мероприятия, проводимого на одной секции, на другие секции.

Каждое дерево на постоянных пробных площадях нумеруется и подписывается краской. С этой целью на высоте 1,5–1,8 м от шейки корня подрумянивают кору и наносят по трафарету номер. На тонких деревьях допускается нанесение номера вертикальными столбцами, а также закрепление алюминиевых пластинок с выбитым номером. Желательно выполнить картирование всех деревьев, произрастающих на ППП. Для этого ППП разбивается на квадраты со сторонами 10, 5, 3 или 2 м в зависимости от возраста и густоты древостоя. Каждое дерево с указанием породы и номера наносят на план путем проектирования его основания на стороны квадрата, или измеряя расстояние

до ближайшей стороны квадрата с помощью рулетки. План вычерчивается на миллиметровой бумаге в масштабе 1 : 100 или 1 : 200.

При перече́те деревьев на ППП проводится измерение их диаметров на высоте 1,3 м в двух взаимно перпендикулярных направлениях с последующим установлением в камеральных условиях среднего значения. Кроме того, все деревья делятся по породам и категориям санитарного состояния в соответствии с требованиями Правил санитарной безопасности в лесах (2017).

Шкала установления категорий санитарного состояния деревьев приведена в табл. 2. При перече́те обязательно указывают заселенность деревьев разных категорий стволовыми вредителями и пораженность болезнями, если признаки поражения четко выражены. В очагах хвое- и листогрызущих вредителей перече́т деревьев проводится после периода восстановления хвои и листвы, до этого в случае необходимости учитывается лишь степень объедания хвои (листвы) в процентах (1 – без повреждения, 2 – слабое повреждение, менее 25 %, среднее – 25–50 %, сильное – 50–75 %, полное – более 75 %). Ветровал, бурелом, снеголом учитывают отдельно с указанием времени их образования.

Ухудшение санитарного состояния древостоя на ППП проявляется в увеличении запаса деревьев следующих категорий состояния: усыхающие, свежий и старый сухостой, свежий и старый ветровал, свежий и старый бурелом.

Ухудшение санитарного состояния определяется путем сопоставления показателей, содержащихся в материалах настоящего и предварительного обследований, а в случае отсутствия предварительного обследования по показателю средневзвешенной категории санитарного состояния.

Для определения средней категории санитарного состояния по запасу используется следующая формула:

$$K_c = \frac{M_11 + M_22 + M_33 + M_44 + M_{5(a)}5 + M_{5(б)}5 + M_66 + M_{6(a)}6 + M_{6(б)}6 + M_77}{\Sigma M}, \quad (1)$$

где  $K_c$  – среднее значение показателя категории санитарного состояния по запасу;

$M_1, M_2, M_3, \dots, M_{6(б)}, M_7$  – запас деревьев первой, второй, третьей, ..., шестой (б), седьмой категорий санитарного состояния, м<sup>3</sup>;

1, 2, 3, ..., 6, 7 – номера категорий санитарного состояния;

$\Sigma M$  – общий запас деревьев на ППП, м<sup>3</sup>.

Таблица 2

Шкала категорий состояния деревьев

Категории деревьев	Признаки категорий состояния	
	Хвойные	Лиственные
1 – здоровые (без признаков ослабления)	Крона густая (для данной породы, возраста и условий место-произрастания); хвоя (листва) зеленая; прирост текущего года нормального размера	
2 – ослабленные	Крона разреженная; хвоя светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли	Крона разреженная; листва светло-зеленая; прирост уменьшен, но не более чем наполовину; отдельные ветви засохли; единичные водяные побеги
3 – сильно ослабленные	Крона ажурная; хвоя светло-зеленая, матовая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; плодовые тела трутовых грибов или характерные для них дупла	Крона ажурная; листва мелкая, светло-зеленая; прирост слабый, менее половины обычного; усыхание ветвей до 2/3 кроны; обильные водяные побеги; плодовые тела трутовых грибов или характерные для них дупла
4 – усыхающие	Крона сильно ажурная; хвоя серая, желтоватая или желто-зеленая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей	Крона сильно ажурная; листва мелкая, редкая, светло-зеленая или желтоватая; прирост очень слабый или отсутствует; усыхание более 2/3 ветвей
5 – свежий сухостой	Хвоя серая, желтая или красно-бурая; кора частично опала	Листва увяла или отсутствует; ветви низших порядков сохранились, кора частично опала
5а – свежий ветровал	Хвоя зеленая, серая, желтая или красно-бурая; кора обычно живая, ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней	Листва зеленая, увяла либо не сформировалась; кора обычно живая, ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней
5б – свежий бурелом	Хвоя зеленая, серая, желтая или красно-бурая; кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны	Листва зеленая, увяла либо не сформировалась; кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны

Категории деревьев	Признаки категорий состояния	
	Хвойные	Лиственные
6 – старый сухостой	Живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; стволовые вредители вылетели; в стволе мицелий дереворазрушающих грибов, снаружи плодовые тела трутовиков	Листва зеленая, увяла либо не сформировалась; кора ниже слома обычно живая, ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны
6а – старый ветровал	Живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; ствол повален или наклонен с обрывом более 1/3 корней; стволовые вредители вылетели	
6б – старый бурелом	Живая хвоя (листва) отсутствует; кора и мелкие веточки осыпались частично или полностью; ствол сломлен ниже 1/3 протяженности кроны; стволовые вредители выше места слома вылетели, ниже места слома могут присутствовать; живая кора, водяные побеги, вторичная крона, свежие поселения стволовых вредителей	
7 – аварийные деревья	Деревья со структурными изъянами (наличие дупел, гнили, обрыв корней, опасный наклон), способными привести к падению всего дерева или его части и причинению ущерба населению или государственному имуществу и имуществу граждан	

Категория ослабленности (санитарного состояния) древостоя определяется по значению средней категории санитарного состояния согласно рекомендациям Б. И. Ковалева (Ковалев, 1993). Древостой характеризуется как здоровый при  $K_c = 1,0-1,5$ , как ослабленный при  $K_c = 1,6-2,5$ , сильно ослабленный при  $K_c = 2,6-3,5$ , отмирающий при  $K_c = 3,6-4,6$  и отмерший при  $K_c = 4,6$  и более.

По окончании перечета на ППП для каждой древесной породы, представленность которой в составе древостоя 3 и более единиц, измеряют высоты у 15–20 деревьев из числа деловых. Отбор деревьев проводится по принципу ступенчатого представительства с таким расчетом, чтобы учесть высоты большинства ступеней толщины от самой тонкой до самой толстой. У отобранных деревьев измеряют диаметр на высоте 1,3 м с точностью до 0,1 см, а также высоту

с точностью до 0,1 м с помощью высотомеров Блюма – Лейса, Анучина, эклиметра или других импортных и отечественных высотомеров, обеспечивающих необходимую точность. Если древесная порода представлена в составе менее чем тремя единицами, для определения средней высоты элемента леса замеряют высоты трех деревьев, близких по диаметру к среднему, т.е. из центральной ступени толщины.

По материалам обмера высот и диаметров деревьев (табл. 3) строится график кривой высот, по которому определяется средняя высота древостоя.

Таблица 3

Высоты модельных деревьев

Ступень толщины, см	Сосна		Береза	
	Диаметр, см	Высота, м	Диаметр, см	Высота, м
8	8,4	10,5	7,5	9,5
8	7,6	9,9	8,8	11,1
12	11,5	11,7	12,2	11,9
12	12,4	12,1	12,7	12,2
12	12,9	12,7	11,3	11,3
16	14,8	12,7	15,2	12,7
16	16,8	13,1	16,0	15,0
и т.д.	и т.д.	и т.д.	и т.д.	и т.д.

При работе на ППП чаще всего высоты деревьев измеряют у каждого 5-го или 10-го дерева в ступени толщины с таким расчетом, чтобы их общее количество было не менее 20–30 шт. на каждой секции. В молодняках нужно измерить большое количество деревьев, так как изменчивость высот в них выше в 1,5–2,0 раза по сравнению с таковой в спелых древостоях. Если предметом изучения является вертикальное строение древостоев и в ряде других случаев, то на ППП замер высот проводится у всех деревьев.

Определение средней высоты каждого элемента леса на ППП проводится путем построения графиков кривой высот.

Возраст деревьев на ППП определяется по визуальным признакам, числу годичных колец на пнях или по кернам, взятым возрастным буравом. Керны буравом следует брать у деревьев I–III классов роста по Крафту. Количество модельных деревьев или пней составляет 8–10 в одновозрастных или 18–20 в разновозрастных древостоях.

Средний возраст элемента древостоя вычисляется как среднеарифметическое значение возрастов модельных деревьев.

На основании данных перечета деревьев на ППП устанавливаются основные таксационные показатели по элементам древостоя согласно методическим рекомендациям А. В. Данчевой и С. В. Залесова (Данчева, Залесов, 2015).

Тип леса устанавливается согласно методическим указаниям В. Н. Сукачева и С. В. Зонна (Сукачев, Зонн, 1961), а также Б. П. Колесникова, Р. С. Зубаревой и Е. П. Смолоногова (Колесников и др., 1973).

### **2.3. Изучение естественного лесовозобновления**

Лесовозобновление – это процесс появления и отпада растений древесных пород-лесообразователей, один из важнейших этапов лесообразования. Структурно он включает всходы – возраст растений 1–2 года и подрост – растения старше 2 лет.

Анализируется возобновление по следующей программе: количество растений по породному и возрастному составу, высотной структуре, жизненному состоянию, встречаемости, густоте и приростам по высоте. Учет проводится на учетных площадках, закладываемых на ППП, с последующим пересчетом полученных данных на 1 га.

Состав подроста определяется по количеству растений каждой породы. Возраст обычно подразделяется на градации: 1–2 года (всходы), 2–5 лет, 6–10, 11–15, 16 и более лет. Средний возраст устанавливается как средневзвешенное значение по группам возраста для отдельных пород или всех пород в целом, максимальный возраст определяется по группе наиболее крупного подроста.

Распределение подроста по группам высот определяется целью и детальностью исследования. Чаще всего подрост делится на следующие группы высот, м: до 0,25; 0,26–0,5; 0,6–1,0; 1,1–1,5; 1,6 и выше. Растения высотой до 0,5 м представляют собой категорию мелкого подроста, 0,6–1,5 м – средний подрост и выше 1,5 м – крупный подрост. Средняя высота подроста устанавливается как средневзвешенное значение по группам высот.

По жизненному состоянию всходы и подрост подразделяются на жизнеспособные (ж), сомнительные (с) и нежизнеспособные (н). К жизнеспособным относятся растения, характеризующиеся следующими признаками: густая хвоя, зеленая или темно-зеленая окраска хвои, заметно выраженная мутовчатость, островершинная или

конусовидная симметричная густая или средней густоты крона протяженностью до  $1/3$  высоты ствола в группах и  $1/2$  высоты ствола – при одиночном размещении, прирост по высоте за последние 3–5 лет не утрачен, прирост вершинного побега равен (или более) приросту боковых ветвей верхней половины кроны, стволики прямые неповрежденные, гладкая или мелкочешуйчатая кора без лишайников (Правила лесовосстановления, 2019).

Растущий на валежнике подрост относится по указанным признакам к жизнеспособному в том случае, если валежная древесина разложилась, а корни подроста проникли в минеральную часть почвы.

Жизнеспособный подрост твердолиственных пород характеризуется нормативным облиствением кроны, пропорционально развитыми по высоте и диаметру стволиками.

К нежизнеспособному подросту относятся растения со сломом стволика или наклоном его более 50% протяженности, обдиром более 30% окружности стволика, обрывом скелетных корней или обдиром их более 50% окружности, с приростом вершинного побега менее прироста боковых ветвей, с желтоватым оттенком хвои и зонтикообразной кроной.

Для оценки жизнеспособности подроста достаточно одного дефекта стволика, кроны или корней. При наличии двух и более дефектов растения относятся к категории нежизнеспособных. При общей оценке жизнеспособности подроста в категорию жизнеспособного включают 50 % количества сомнительного подроста, а оставшиеся 50 % сомнительных и все нежизнеспособные экземпляры из расчетов исключают.

Приросты подроста измеряются у 3–5 растений каждой высотной или возрастной группы за 3–5 последних лет. Однако если ППП заложена с целью определения лесоводственной эффективности проведенных мероприятий, то соответственно надо замерить приросты у растений и до их проведения.

Густота самосева подроста определяется числом растений в расчете на 1 га или по отдельным породам, или по всем породам сразу. Подрост по густоте подразделяется на группы: редкий – до 2 тыс. экз./га, средней густоты – 2–8, густой – 8–13 и очень густой – более 13 тыс. экз./га.

Учет подроста на ППП ведется на учетных площадках. В зависимости от крупности, равномерности размещения и густоты подроста размер учетных площадок может быть  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$  м. Общее количество их должно составлять 15–25 шт. на каждой ППП.



Чем крупнее подрост, меньше его густота и неравномернее размещение, тем должны быть больше по размеру учетные площадки и больше их количество. Закладываются учетные площадки равномерно по ППП по специально намеченным ходовым линиям. В целях получения данных по характеристике возобновления с точностью  $\pm 5\%$  необходимо заложить при очень густом и густом подросте (8,0 тыс. экз./га и более) учетных площадок общим размером 0,5 % от площади ППП, при средней густоте подроста (3–8 тыс. экз./га) – 1 % и редком (менее 3 тыс.) – 2 % от площади ППП.

Отношение учетных площадок с наличием подроста (или по той или иной породе, или по группе пород, или с учетом всего подроста) к общему числу заложенных площадок, выраженное в процентах, является показателем встречаемости подроста. Согласно критериям Гослесхоза СССР (Инструкция..., 1984) встречаемость более 65 % характеризует размещение подроста как равномерное, 40–64 % – неравномерное, менее 40 % – групповое.

Анализ возобновления на ППП выполняется согласно табл. 4 и 5.

Таблица 4

Перечет подроста на ППП

Номер учетной площадки	Порода	Происхождение	Количество, шт.															
			всходов	самосева и подроста по группам высот и состоянию														
				до 0,5 м			0,6–1,0 м			1,1–1,5 м			1,6 м и более					
				ж	с	н	ж	с	н	ж	с	н	ж	с	н			

При наличии подроста разных высот его учет следует проводить с распределением на группы по категориям крупности. Для определения количества подроста применяются коэффициенты пересчета мелкого и среднего подроста в крупный. Для мелкого подроста применяется коэффициент 0,5, среднего – 0,8, крупного – 1,0. Если подрост смешанный по составу, возобновление оценивается по главным лесным древесным породам, соответствующим природно-климатическим условиям.

Характеристика возобновления на ППП

Показатель	Древесная порода								Всего	
	Сосна	Лиственница	Кедр	Ель	Итого хвойных	Береза	Осина	Итого лиственных	экз./га	%
1. Жизнеспособное состояние подроста										
Количество подроста на 1 га, экз.: жизнеспособный нежизнеспособный Итого: экз./га %										
2. Возрастная структура жизнеспособного подроста										
Возраст, лет: 1–2 3–5 6–10 11–15 16 и более										
3. Высотная структура жизнеспособного подроста										
Высота, м: до 0,5 0,6–1,0 1,1–1,5 1,6 и более										
4. Таксационная характеристика жизнеспособного подроста										
Встречаемость, % Сомкнутость, % Средний возраст, лет Средняя высота, м Густота, экз./га Прирост, см										

Успешность лесовозобновления оценивается по шкалам. Их великое множество, как генерализированных, так и региональных. Они составлены и по небольшому числу показателей, и по значительному их числу. В табл. 6 приводятся критерии для упрощенной оценки успешности лесовозобновления.

Для более глубокого изучения методики анализа лесовозобновления можно обратиться к соответствующей работе А. В. Побединского (1966).

Таблица 6

Шкала оценки естественного возобновления  
(по В. Г. Нестерову, 1954)

Оценка естественного возобновления	Количество подроста в зависимости от его возраста, тыс.экз./га		
	до 5 лет	6–10 лет	11 лет и более
Хорошее	10	5	3
Удовлетворительное	5–10	3–5	1–3
Слабое	3–5	1–3	1–1,5
Плохое	3	1	0,5

При выборе способа лесовосстановления учитывается прежде всего количество жизнеспособного подроста и молодняка главных лесных древесных пород (табл. 7).

## 2.4. Описание почв

Изучение и описание морфологических признаков почв проводятся по общепринятым методикам (Бурсова, 1961; Роде, 1972; Иванова, 1976; Почвоведение, 1989 и др.). На каждой ППП закладывается основной почвенный разрез. По нему изучается морфология почвы, дается ее название, при необходимости берутся образцы для анализов. Типичность разреза проверяется полуразрезами или прикопками.

Место заложения разрезов и полуразрезов выбирается непосредственно в полевых условиях с учетом микрорельефа и растительности. Разрез располагается в типичной части ППП, лучше закладывать его под хорошо развитыми кронами деревьев тех пород, которые преобладают, не на прогалине или у самого ствола дерева.

Перед закладкой почвенного разреза на поверхности почвы намечаются его контуры в виде прямоугольника шириной 0,7–0,8 м, длиной 1,5–1,7 м (на мелких почвах длина может быть уменьшена). Глубина разреза определяется мощностью почвенной толщи и уровнем заложения материнской породы. Основной почвенный разрез выкапывается до материнской породы.

Таблица 7

Способ лесовосстановления в зависимости от количества жизнеспособного подроста и молодняка главных лесных древесных пород в Средне-Уральском таежном лесном районе

Способ лесовосстановления		Древесная порода	Группы типов леса, типы лесорастительных условий	Количество жизнеспособного подроста и молодняка, тыс. шт./га
1		2	3	4
Естественное лесовосстановление	Путем мероприятий по сохранению подроста, ухода за подростом	Сосна	Нагорная и лишайниковая	Более 2,5
			Брусничная, ягодниковая	Более 4
		Ель, Пихта	Брусничная, ягодниковая	Более 2
			Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	Более 2
		Кедр	Брусничная, ягодниковая	Более 1
			Травяная, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	Более 1
		Береза	Брусничная, ягодниковая	Более 4
			Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	Более 6
Естественное лесовозобновление	Путем минерализации почвы	Сосна, лиственница	Нагорная и лишайниковая	1–2,5
			Брусничная, ягодниковая	2–4
Комбинированное лесовосстановление		Ель, Пихта	Брусничная, ягодниковая	1–2
			Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	1–2

Окончание табл. 7

1		2	3	4
		Кедр	Брусничная, ягодниковая	0,5–1
			Травяная, мшисто-хвощевая и болотно-травяная	0,5–1
		Береза	Брусничная, ягодниковая	1–4
			Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	2–6
Искусственное лесовосстановление		Сосна, листвен- ница	Нагорная и лишайниковая	Менее 1
			Брусничная, ягодниковая	Менее 2
	Ель, Пихта	Брусничная, ягодниковая	Менее 1	
		Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	Менее 1	
	Кедр	Брусничная, ягодниковая	Менее 0,5	
		Травяная, мшисто-хвощевая и болотно-травяная	Менее 0,5	
		Береза	Брусничная, ягодниковая	Менее 1
			Травяная, липняковая, мшисто-хвощевая, болотно-травяная	Менее 2

Почвенный разрез в солнечный день должен быть ориентирован лицевой стенкой с таким расчетом, чтобы она к моменту наблюдения освещалась прямыми солнечными лучами. В пасмурный день ориентация разреза может быть любой. На склонах лицевая сторона ориентируется вверх. Лицевая и боковые стенки делаются отвесными, а стенка, противоположная лицевой, делается в виде лестницы. Почва выбрасывается на боковые стороны разреза.

Сразу же после выкопки разреза отбираются образцы материнской породы для ее определения. Лицевая стенка зачищается ножом

с целью придания почве естественного сложения, нарушенного при копке разреза. На уровне поверхности почвы закрепляется измерительная лента, с помощью которой определяются мощность генетических горизонтов и в целом глубина почвенного профиля.

### Признаки почв

Основными морфологическими признаками почвы являются строение почвенного профиля, мощность горизонтов, цвет (окраска почвенной массы), структура, механический состав, сложение, новообразования, включения, распределение корневых систем растений, характер перехода одного горизонта в другой, влажность.

**Почвенный профиль** следует описывать на специальном бланке. Бланк представляет собой лист писчей бумаги, на лицевой стороне которого излагаются приводимые ниже данные.

### ОПИСАНИЕ ПОЧВЕННОГО РАЗРЕЗА

Дата «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ г. Разрез № \_\_\_\_\_  
 Географическое положение: область \_\_\_\_\_, район \_\_\_\_\_  
 Лесхоз \_\_\_\_\_, лесничество \_\_\_\_\_,  
 квартал \_\_\_\_\_, выдел \_\_\_\_\_, ППП \_\_\_\_\_  
 Приуроченность разреза к рельефу: микрорельеф \_\_\_\_\_,  
 мезорельеф, экспозиция и крутизна склона \_\_\_\_\_,  
 макрорельеф \_\_\_\_\_  
 Описание растительности: тип леса \_\_\_\_\_ класс бонитета \_\_\_\_\_,  
 состав древостоя \_\_\_\_\_, класс возраста \_\_\_\_\_,  
 подлесок \_\_\_\_\_,  
 подрост \_\_\_\_\_,  
 живой напочвенный покров \_\_\_\_\_  
 Состояние поверхности участка вблизи разреза (признаки заболоченности, иссушения, оторфованности, задернения, каменистость, нарушение естественного сложения почвы, вырубка и др.) \_\_\_\_\_  
 Уровень грунтовых вод, м \_\_\_\_\_  
 Материнская порода \_\_\_\_\_  
 Глубина разреза, м \_\_\_\_\_  
 Вскипание от НС1с глубины, м \_\_\_\_\_  
 Название почвы: тип \_\_\_\_\_  
 подтип \_\_\_\_\_, род \_\_\_\_\_  
 вид \_\_\_\_\_ разновидность \_\_\_\_\_

На оборотной стороне бланка по описанию почвенного разреза приводится схема для характеристики горизонтов почвы (табл. 8).

Таблица 8

Описание морфологических признаков почвы

Схематический рисунок разреза	Генетический горизонт		Окраска	Характер перехода горизонтов	Механический состав	Структура	Сложение	Новообразования	Влажность	Распределение корней растений
	Буквенное обозначение	Глубина залегания (от – до), см								

Детальность описания места закладки почвенного профиля зависит от характеристики всех компонентов лесного насаждения на ППП. Непременно должна быть учтена специфика этих компонентов под углом зрения почвообразования. Например, если при общем описании травяно-кустарничкового покрова указываются проективное покрытие, видовой состав, структура и некоторые другие признаки, то непосредственно вокруг ямы фиксируются доминанты и отдельные виды – индикаторы, позволяющие более точно диагностировать почву. Это же касается подлеска, подроста, лесной подстилки.

Каждый генетический горизонт имеет название и обозначается индексом – буквой латинского алфавита.

В лесных почвах на поверхности, как правило, выделяют горизонт мертвых растительных остатков  $A_0$  – лесную подстилку. Если мощность лесной подстилки превышает 3–5 см, то ее разделяют на ряд подгоризонтов по степени разложения органического вещества –  $A_{01}$ ,  $A_{02}$ ,  $A_{03}$ . У каждого горизонта лесной подстилки указывают мощность, цвет, состав и степень разложения. Индексом  $A_0$  обозначают также верхние горизонты болотных почв, в которых, в частности, выделяют:  $A^o_0$  – очес,  $A^T_0$  – торфяной,  $A^{III}_0$  – перегнойно-торфяной и  $A^II_0$  – перегнойный горизонты. Далее за лесной подстилкой располагаются следующие горизонты почвы:

1)  $A_1$  – гумусово- (перегнойно-) аккумулятивный горизонт. Для него характерна насыщенность корнями растений. В зависимости от

содержания гумуса окраска его изменяется от светло-серой до черной. Гумусово-аккумулятивный горизонт, как правило, имеет водопрочную, комковатую или зернистую структуру;

2)  $A_2$  – элювиальный, или подзолистый, горизонт. Здесь происходит вымывание органических и минеральных веществ. Для данного горизонта характерны палево-белесая, серо-белесая, сизо-белесая или белесая окраски, а также плитчатость, чешуйчатость, пылеватость или полная бесструктурность;

3) В – иллювиальный горизонт в почвах, когда происходит вымывание подвижных веществ из вышележащих горизонтов (подзолистые почвы, солоды др.). В остальных почвах (дерновые, бурые лесные и др.) этот горизонт называют переходным, он отличается от вышележащих и нижележащих горизонтов бурой окраской, большей плотностью и тяжелым механическим составом. Горизонт В может достигать большой мощности, поэтому его часто подразделяют на подгоризонты  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  и т.д.;

4) G – глеевый горизонт, формирующийся в условиях постоянного избыточного увлажнения. Для этого горизонта характерны тусклая голубоватая, сизоватая, зеленоватая (оливковая) окраски, иногда с ржавыми пятнами. Структура глеевого горизонта глыбистая, крупнокомковатая;

5) С – материнская порода, горизонт, лежащий под любым из описанных почвенных горизонтов. Этот горизонт слабо изменен процессами почвообразования и обладает чертами, присущими горной породе, из которой он образован;

6) D – подстилающая горная порода. Выделяется горизонт в том случае, если он по свойствам отличается от почвообразующего горизонта С.

Некоторые горизонты сочетают в себе признаки двух горизонтов. Тогда они выделяются, как переходные или промежуточные горизонты типа  $A_0A_1$ ,  $A_1A_2$ ,  $A_2B$ ,  $BC$  и т.д. После выделения генетических горизонтов приступают к морфологическому описанию каждого из них по указанной на оборотной стороне бланка схеме (см. табл. 8).

Схематический рисунок разреза должен отражать его основные морфологические особенности. Рисунок выполняют карандашом в соответствующем масштабе (примерно 1:10) и окрашивают мазками влажной почвы, иногда используют клейкую ленту шириной 3–6 см, на которую в масштабе наносят границы горизонтов, а затем посыпают почвой в пределах нанесенных границ.



Мощность генетического горизонта определяют по сантиметровой ленте. За исходную точку отсчета берут поверхность почвы. В 3-й графе указывают верхнюю и нижнюю границы в сантиметрах. В графе «окраска» указывают основной тон, интенсивность и оттенок горизонта (см. табл. 8). Обычно используют сложные (двойные, тройные) названия: темно-серый, белесовато-серый и т.д., в которых на преобладающую (фоновую) окраску указывает последнее слово.

По характеру перехода одного горизонта в другой различают резкий – окраска одного горизонта меняется на окраску другого на протяжении не более 2 см, ясный – 2–5 см, постепенный – 5–10 см. Иногда почвенные горизонты заходят в другие в виде «языков», «за-теков» или «карманов».

**Механический состав почвы** – это относительное содержание в ней частиц различной крупности: камней, песка, глины, пыли. Для определения механического состава почвы в полевых условиях небольшое количество субстрата увлажняют и разминают до тестообразного состояния. Затем раскатывают образец ладонями в шнур диаметром до 3 мм и пробуют свернуть этот шнур в кольцо диаметром до 3 см. Вид образца является показателем механического состава почвы (табл. 9).

Таблица 9

Определение механического состава почвы  
методом мокрого растирания

Механический состав	Характер скатывания
Песок	Шнур и шарик не образуются
Супесь	Скатывается в шарик и зачатки шнура
Легкий суглинок	Шнур при сворачивании дробится на несколько частей
Средний суглинок	Кольцо при свертывании распадается (обычно на 2 части)
Тяжелый суглинок	Образуется кольцо с трещинами
Глина	Образуется кольцо без трещин

**Структура почвы** – это способность ее твердой фазы агрегироваться и естественно распадаться на комочки разной формы и величины (табл. 10). При описании структуры часто используют

сложные названия: комковато-зернистая, ореховато-призматическая, листовато-пластинчатая и т.д. При этом преобладающую структуру отражают вторым словом.

Таблица 10

Классификация структурных агрегатов в почвах

Форма структуры	Вид структуры	Размеры агрегатов, мм
<b><i>I тип – кубовидная структура</i></b>		
Грани и ребра выражены плохо		
Глыбистая – неправильная форма, неровная поверхность	Крупноглыбистая	Более 100
	Мелкоглыбистая	100–50
Комковатая – неправильная форма, округлая и шероховатая поверхность	Крупнокомковатая	50–30
	Комковатая	30–10
	Мелкокомковатая	10–0,5
Пылеватая	Пылеватая	Менее 0,5
Грани и ребра выражены хорошо		
Ореховатая – более или менее правильная форма, поверхность граней сравнительно ровная, ребра острые	Крупноореховатая	Более 10
	Ореховатая	10–7
	Мелкоореховатая	7–5
Зернистая – более или менее правильная форма, иногда округлая с гранями то шероховатыми, то гладкими	Крупнозернистая	5–3
	Зернистая	3–1
	Мелкозернистая	1–0,5
<b><i>II тип – призмовидная структура</i></b>		
Грани и ребра хорошо выражены		
Столбчатая	–	50–30
Призматическая	–	30–10
Грани и ребра выражены плохо		
Столбовидная	–	50–30
<b><i>III тип – плитовидная структура</i></b>		
Плитчатая – слоеватая с более или менее развитыми плоскостями спайности	Сланцеватая	Более 5
	Плитчатая	5–3
	Пластинчатая	3–1
	Листоватая	Менее 1
Чешуйчатая – со сравнительно небольшими, отчасти изогнутыми плоскостями спайности и часто изогнутыми острыми краями	Скорлуповатая	Более 3
	Грубочешуйчатая	3–1
	Мелкочешуйчатая	Менее 1

**Сложение почвы** – это степень ее плотности и пористости. Различают следующие типы сложения по плотности:

– *очень плотный* – почва не поддается лопате, при копке разреза применяют лом или кирку;

– *плотный* – почва с трудом поддается лопате, с лопаты падает глыбами и распадается на большие комья, нож с трудом входит в почву на 5–6 см;

– *плотноватый* – почва рассыпается или легко разламывается на крупные комки, пластинки, нож входит в горизонт с небольшим усилием;

– *рыхлый* – почва рассыпается на мелкие комочки, нож входит в горизонт без усилий;

– *рассыпчатый* – почва сыпуча, лишена гумуса.

По пористости внутри структурных отдельностей различают почвы:

– *слитные* – видимые поры отсутствуют;

– *тонкопористые* – почва пронизана порами диаметром меньше 1 мм;

– *пористые* – диаметр пор от 1 до 3 мм;

– *губчатые* – поры от 3 до 5 мм;

– *ноздреватые (дырчатые)* – пустоты от 5 до 10 мм;

– *ячеистые* – пустоты превышают 10 мм;

– *трубчатые* – пустоты соединены в канальца.

**Новообразования** – важный морфологический признак почвы. Это скопления различных веществ, которые формируются и откладываются в толще в результате почвообразовательного процесса. Скопления веществ имеют различные форму и химический состав. Это могут быть пленки, налеты, выцветы, прожилки и др. По химическому составу это гидраты окислов железа, марганца, кремнезема, карбонаты, органические вещества.

**Включения** – тела органического и минерального происхождения, находящиеся в почве, но не связанные с почвообразовательными процессами. Это крупные обломки горных пород, галька, валуны, кости животных, раковины, кусочки угля и др.

**Влажность** почвы – очень изменчивое свойство и описывается только на свежих разрезах:

– *сухая* – почва пылит, влаги не ощущается, т.е. руку не холодит;

– *свежая* – не пылит, холодит руку, при сжатии образуются комки, которые легко рассыпаются;

– *влажная* – влага ощущается на ощупь, при сжатии почва слипается, комок увлажняет фильтровальную бумагу, светлеет при подсыхании;

– *сырая* – при сжатии почва сыреет и приобретает тестообразную форму, образующиеся капли воды не просачиваются между пальцами;

– *мокрая* – при сжатии вода сочится между пальцами, кроме того, вода сочится из стенок разреза.

**Распределение корневых систем** – признак почвы, при описании которого даются характеристика и рисунок. Характеристика определяется субъективно. Например, горизонт густо пронизан корнями, которые представлены единично, могут быть крупными, средними, мелкими и т.п.

На основании полученного таким образом описания почвенного разреза дается название почвы, которое должно включать названия типа, подтипа, рода, вида и разновидности почв.

### **Описание почвенного разреза**

Для просмотра и проведения анализов в лабораторных условиях почвенные образцы отбирают из основных разрезов. Образцы берут из всех генетических горизонтов. Для отбора образца находят середину горизонта и очерчивают прямоугольник. Отмеченный прямоугольник не должен иметь каких-либо отклонений от общего фона горизонта. Прямоугольник располагают вертикально, при этом его границы не должны доходить до верхней и нижней границ горизонта на 1–2 см. Отбор образцов начинают от верхних горизонтов. В качестве исключения на почвах с легким механическим составом с целью предотвращения загрязнения образцы начинают отбирать с нижних горизонтов; он может быть насыпным.

Каждый образец помещают в мешочек или заворачивают в бумагу. На одной стороне пакета или мешочка делают надпись простым карандашом. Ту же надпись делают на этикетке, которая помещается в мешочек или пакет. Надпись содержит номер образца, лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел, № ППП, глубину взятия образца, дату и подпись лица, взявшего образец. Масса образца 0,5–1,0 кг.

Хранение сырых почвенных образцов не допускается, так как под влиянием микробиологических процессов в сырых образцах изменяется химический состав почвы. Поэтому образцы консервируют, т.е. доводят их до воздушно-сухого состояния, рассыпав тонким слоем на бумагу.

После описания почвенных разрезов и взятия образцов для лабораторных исследований разрезы засыпают вынутой почвой, сначала укладывая нижние, а затем верхние горизонты.

Для определения активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов можно использовать метод аппликаций (Востриков, Петрова, 1961; Залесов, Луганский, 1989). Целлюлозоразрушающие микроорганизмы – физиологическая группа бактерий, включающая представителей разных таксонов: клостридии, ряд актиномицетов, миксобактерии, некоторые псевдомонады, представители коринеформных бактерий, постоянные обитатели желудка жвачных, относящиеся к родам *Ruminococcus*, *Bacteroides*, *Butyrivibrio* и др. Единственное общее свойство этих организмов – способность к ферментативному расщеплению целлюлозы. В качестве тестов используются кусочки хлопчатобумажной ткани размером 100 × 200 мм. Все кусочки нумеруются и высушиваются при температуре 105 °С с последующим установлением массы каждого кусочка в абсолютно сухом состоянии. На каждой пробной площади летом выкладывается по 10 предварительно смоченных дистиллированной водой тестов. Закладка производится на поверхность почвы под лесную подстилку с учетом парцеллярной неоднородности насаждений. Спустя 90 дней сохранившиеся части тестов извлекаются, очищаются от частиц почвы и лесной подстилки, высушиваются до абсолютно сухого состояния и взвешиваются. Разложение клетчатки определяется по разнице массы тестового материала до и после экспозиции, что позволяет опосредованно определять биологическую активность почв. На место извлеченных тестов по той же технологии закладывается новая тестовая ткань. Общий период проведения опыта составляет один год.

## 2.5. Лесной опад и лесная подстилка

Лес, ежегодно поглощая огромное количество минеральных элементов, создает органическое вещество, а затем в значительной мере (до 90 %) возвращает его в почву. Это вещество минерализуется и снова поступает в пищу растениям. Так идет постоянный процесс, так называемый малый биологический круговорот. Оценка его параметров невозможна без определения массы опада, поступающего на поверхность почвы. Опад представляет собой энергетический материал, способствующий развитию почвообразования и других биогенетических процессов. Это один из основных источников поступления в почву

азота и зольных (минеральных) веществ. Кроме того, такие данные необходимы при определении запасов лесных горючих материалов для последующей оценки степени пожарной опасности. Известно, что значительные колебания в поступлении опада по годам связаны с влиянием климатических и погодных условий на жизнь леса.

Массу опада можно определить несколькими методами. Одним из них является разовое наблюдение, когда сбор опада проводят с 10–15 учетных площадок размером 0,4×0,5 или 1×1 м. Опад собирается в мешки, затем в лабораторных условиях высушивается до абсолютно сухого состояния и взвешивается или целиком в виде образца, или по фракциям. Точность взвешивания опада ±0,1 г. Если нужны наблюдения в течение ряда лет для получения динамики показателя и чтобы иметь результаты более точные, то для изучения лесного опада следует использовать опадомеры (опадоуловители).

Использование опадомеров – это традиционный метод определения массы опада (Карпачевский, Киселева, 1968). Он заключается в установке на ППП 10–15 опадомеров, представляющих собой квадратные ящики со стороной квадрата 0,4; 1,0 или 2 м и с боковыми стенками высотой 10 см. Опадомеры расставляются на ППП равномерно в шахматном порядке. Каждый ящик имеет порядковый номер. Опад собирается несколько раз в год, что диктуется интенсивностью его формирования. В случае кратковременного использования опадоуловителей они могут быть выполнены из любого подручного материала (брезент, полиэтилен). Главная задача таких конструкций – отделение вновь поступающего опада от того, который накоплен на поверхности почвы за предыдущие годы. В лабораторных условиях опад разделяют на фракции, высушивают до абсолютно сухого состояния и взвешивают также с точностью ±0,1 г. Все данные пересчитываются на массу образцов в абсолютно сухом состоянии.

Наряду с экспериментальным существует также расчетный метод определения годичного опада, который запатентован Российским патентным ведомством (Аткин, Стаканов, 1991). Согласно этому методу определение массы лесного опада ( $M$ , т/га) в каждом конкретном насаждении выполняется по формуле

$$M = 4K - 0,65B + 0,2V + 0,2P, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент засушливости года;

$B$  – класс бонитета;

$V$  – класс возраста;

$P$  – относительная полнота древостоя.

Таксационные показатели заносятся в формулу в виде переводных величин, а именно:

Класс бонитета (Б).....	I	II	III	IV	V	Va
Коэффициент.....	1	2	3	4	5	6
Класс возраста (В).....	I	II	III	IV	V	VI
Коэффициент.....	1	2	3	4	5	6
Полнота древостоя (Р)...	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Коэффициент.....	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Коэффициент  $K$  по среднеувлажненному году равен единице. В засушливые годы он составляет для таежной зоны 1,1, лесостепной – 1,15 и степной – 1,2–1,3. Под засушливым годом (засухой) следует понимать такие условия, при которых влажность почвы в вегетационный период близка или равна влажности завядания, а число дней с относительной влажностью воздуха меньше 30 % составляет не менее 7.

Примеры расчета массы лесного опада приведены в табл. 11; в скобках даны переводные коэффициенты.

Таблица 11

Пример расчета массы опада в сосняках Средней Сибири  
(при  $K = 1$ )

Лесорас- тительная подзона	Класс		Полнота Р	Расчет по формуле $M=4K-0,65B+0,2B+0,2P$	Масса опада, т/га
	бонитета Б	возраста В			
Северная тайга	V (5)	V (5)	0,5 (0,5)	$4 \times 1 - 0,65 \times 5 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 0,5$	1,85
	V (5)	VI (6)	0,4 (0,4)	$4 \times 1 - 0,65 \times 5 + 0,2 \times 6 + 0,2 \times 0,4$	2,03
Средняя тайга	III (3)	III (3)	0,6 (0,6)	$4 \times 1 - 0,65 \times 3 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 0,6$	2,78
	IV (4)	IV (4)	0,5 (0,5)	$4 \times 1 - 0,65 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 0,5$	2,30
Южная тайга	I (1)	III (3)	0,8 (0,8)	$4 \times 1 - 0,65 \times 1 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 0,8$	4,11
	II (2)	IV (4)	0,9 (0,9)	$4 \times 1 - 0,65 \times 2 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 0,9$	3,68
	III (3)	V (5)	1,0 (1,0)	$4 \times 1 - 0,65 \times 3 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 1,0$	3,25

Учет массы лесной подстилки проводится в пределах ППП малыми учетными площадками (25×25 см) в 10–50-кратной повторности. Отобранные образцы разделяются на слои (подгоризонты). Минеральные примеси, живые органы лишайников, мхов, других растений, включая корни, удаляются.

Обычно лесная подстилка в хвойных насаждениях состоит из трех слоев, которые обозначаются общепринятыми символами  $A_{01}$ ,

$A_{02}$ ,  $A_{03}$ . Верхний слой  $A_{01}$  составляют хвоя, ветви, кора, шишки, почечные чешуи, семена растений и другие фракции, которые еще не подверглись разложению. В среднем слое  $A_{02}$  теряется первоначальная морфология фракций опада, однако они несколько сцементированы между собой. Нижний слой  $A_{03}$  состоит из трудноразличимых остатков (трухи) и представляет собой более разложившуюся органическую массу, перемешанную с минеральными частицами почвы. В связи с тем, что слои  $A_{02}$  и  $A_{03}$  трудно разделить, часто их определяют суммарно  $A_{02} + A_{03}$ . В качестве примера приводим данные о лесной подстилке в сосняках Южного Урала (табл. 12).

Таблица 12

Мощность и запас в абсолютно сухом состоянии  
лесной подстилки в сосняках зеленомошных Южного Урала  
(1 – среднее значение и 2 – его ошибка)

Возраст древос- стоя, лет	Мощность, см						Запас, т/га					
	$A_{01}$		$A_{01+02}$		$A_0$		$A_{01}$		$A_{01+02}$		$A_0$	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
18–22	0,38	0,02	3,08	0,02	3,46	0,11	2,3	0,2	25,2	1,8	27,5	1,9
35–40	0,47	0,03	2,57	0,09	3,04	0,10	2,7	0,3	19,8	1,6	22,5	1,6
60–70	0,67	0,04	2,75	0,11	3,42	0,12	2,4	0,2	21,7	1,9	24,1	1,9

В лиственных и смешанных насаждениях подстилка может состоять из меньшего количества слоев, так как процесс минерализации органического вещества в данных условиях идет интенсивнее.

При анализе мортмассы наибольшее распространение получил метод расчета опадо-подстилочного коэффициента, представляющего собой отношение массы всей лесной подстилки к массе опада на момент учета (Агафонова и др., 2001). Чем меньше коэффициент, тем, следовательно, активнее протекают процессы разложения подстилки. Наиболее быстро разлагаются листья, хвоя, затем идут кора, ветви. Медленнее всего минерализуются шишки.

Полученные данные о состоянии лесной подстилки могут характеризовать многие процессы, протекающие в лесных насаждениях: пирологическое состояние, интенсивность малого биологического круговорота, лесовозобновление, гидротермический режим почв и др.



### Глава 3

## СИНАНТРОПИЗАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Современный растительный покров земли – результат длительного исторического развития, в ходе которого переплетаются два процесса: филогенез – эволюция видов и филоценогенез – эволюция растительных сообществ.

Начавшиеся еще в неолите изменения растительного покрова продолжают под влиянием деятельности человека со все нарастающей скоростью в настоящее время. Они сводятся к полному уничтожению растительности, замене естественной растительности культурной и к целому комплексу явлений, объединяемых понятием «синантропизация растительного покрова».

Филогенез сопровождается приспособлением растений к совместному существованию в определенных условиях среды, выработкой состава и структуры растительных сообществ, обеспечивающих более полное использование жизненных ресурсов занимаемых ими биотопов, и в конечном счете формированием относительно устойчивых (климаксовых или близких к ним) растительных сообществ, находящихся в динамическом равновесии с условиями среды (Горчаковский, 1979).

Сейчас уже почти нет экосистем и растительных сообществ, не испытывающих на себе антропогенных влияний. Однако степень воздействия на них человека, степень их изменения под этим воздействием различны. По этому признаку можно различать категории экосистем и растительных сообществ.

Многообразия проявления антропогенных воздействий на растительный покров сводится к трем основным формам: 1) полное уничтожение растительного покрова; 2) создание культурных фитоценозов на месте естественной растительности; 3) синантропизация растительного покрова.

*Полное уничтожение растительного покрова* в ряде мест (жилые здания, постройки, промышленные сооружения, железные и грунтовые дороги и т.п.) сопровождается исключением из биосферы части ее продуцирующего растительного компонента, выполняющего важную функцию синтеза органического вещества и регулирования газового состава атмосферы.

*Создание культурных фитоценозов* на месте естественной растительности – это те случаи, когда человек, уничтожая естественную

растительность, создает на ее месте сельскохозяйственные культуры, сады, парки и т.п. Замена естественных растительных сообществ культурными не оказывает такого отрицательного влияния на вещественный баланс биосферы, как полное уничтожение растительного покрова.

*Синантропизация естественного растительного покрова* – это постепенное изменение состава и структуры растительности под давлением антропогенных факторов (Горчаковский, 1979). Под влиянием деятельности человека почти повсюду коренные (первичные) растительные сообщества сменяются производными (вторичными). В случае более сильного разрушения растительных сообществ на их месте формируются разнообразные синантропные группировки (рудеральные, пасквальные и т.п.). В европейских странах (Чехословакия, Польша, ФРГ и др.) синантропные сообщества уже давно стали объектом пристального внимания ботаников.

В конечном счете синантропизация приводит к весьма глубоким преобразованиям растительного мира: обеднению генетических ресурсов, постепенному стиранию самобытных, исторически обусловленных региональных черт флоры и растительности, уменьшению флористического богатства и регионального экологического разнообразия растительных сообществ.

Геоботаник П. Л. Горчаковский для удобства анализа разделил виды живого напочвенного покрова (ЖНП) в соответствии с биологическими особенностями на 6 экосистемных групп (ценотипов) и выделил лесные, луговые, лесолуговые, синантропные, лесные синантропные, луговые синантропные виды (Горчаковский, 1979).

К группе *лесных* относятся представители ЖНП, произрастающие под пологом древостоев при отсутствии существенных рекреационных нагрузок. Типичными представителями этой группы являются брусника, володушка золотистая, грушанка круглолистная, дудник лесной, мох Шребера, сныть обыкновенная, черника, щитовник мужской.

К группе *луговых* относятся представители ЖНП, произрастающие на лугах при отсутствии существенных рекреационных нагрузок. Типичными представителями этой группы являются гравилат речной, ежа сборная, клевер луговой, репешок волосистый.

К группе *лесолуговых* относятся представители ЖНП, произрастающие как под пологом древостоев, так и на открытой местности при отсутствии значительных рекреационных нагрузок. Типичные представители – вейник, подмаренник северный.

К группе *синантропных* относятся представители ЖНП, произрастающие на участках, подвергшихся воздействию существенных рекреационных нагрузок, как правило, в стадии формирования ЖНП вновь. Типичными представителями этой группы являются горец птичий, крапива жгучая, лапчатка гусиная, мать-и-мачеха обыкновенная, одуванчик обыкновенный, подорожник большой.

К группе *лесных синантропных* относятся представители ЖНП, произрастающие под пологом древостоев при наличии существенных рекреационных нагрузок. Типичный представитель этой группы – подорожник ланцетолистный.

К группе *луговых синантропных* относятся представители ЖНП, произрастающие под пологом древостоев при отсутствии существенных антропогенных нагрузок. Типичными представителями этой группы являются клевер ползучий, тысячелистник обыкновенный, пастернак луговой.

Следует иметь в виду, что упрощение флористического состава и унификация растительности неизбежно сопровождаются снижением ее устойчивости по отношению ко всякого рода внешним воздействиям. Стабильная экосистема имеет достаточное количество внутренних и внешних связей, что также определяется ее видовым разнообразием. Упрощение видового состава сложившейся экосистемы неизбежно приводит к снижению ее стабильности.

Как уточняет Холлинг (Holling, 1973), стабильность экосистем может проявляться в их эластичности (*resilience*) и стойкости (*persistence*). Эластичная экосистема легко изменяется под влиянием внешних воздействий, но быстро возвращается к прежней структуре после снятия нагрузок. Стойкая экосистема способна оставаться неизменной или почти неизменной на фоне меняющихся условий среды (конечно, лишь до известного предела).

Охрана растительного мира Земли сводится прежде всего к обеспечению сохранения экологического разнообразия всех региональных комплексов растительных сообществ. Чем больше сохраняется биотопов, тем больше шансов для сохранения таксономического разнообразия флоры (Горчаковский, 1979).

Во всем мире в последние десятилетия резко возросли рекреационные нагрузки на пригородные леса. Рекреационное лесопользование, как и всякое другое вмешательство человека в жизнь лесных экосистем, вызывает их изменения. Обычно эти изменения бывают отрицательными по отношению к естественной природе и в рекреационном лесоводстве получили название рекреационной дигрессии.

Последняя представляется нам сложным изменением комплекса различных элементов лесных экосистем, сказывающимся, прежде всего, на обмене веществ, энергии и взаимосвязей между отдельными видами растений и животных.

Большинство ученых единодушны во мнении, что очень часто на территориях пригородных зон наблюдается влияние нескольких отрицательных факторов, к которым следует отнести промышленные поллютанты, изменение условий произрастания, вызываемое созданием линейных коммуникаций (дорог, линий электропередач и т.п.). Однако основным фактором рекреационной деятельности, вызывающим деградацию и даже гибель насаждений, является вытаптывание. В результате вытаптывания происходит деградация живого почвенного покрова и других компонентов фитоценоза, уплотнение верхних горизонтов почвы, изменение ее физических и химических свойств, биохимических и микробиологических процессов и вместе с тем нарушение всего биологического круговорота. Механические повреждения стволов и корней, непосредственно влияя на их жизнедеятельность, способствуют заселению деревьев вредителями, спорами грибов и развитию болезней.

Использование лесов в рекреационных целях оказывает существенное воздействие на животный мир, многие представители которого чрезвычайно остро реагируют на вторжение в их природные местообитания. В результате происходит уменьшение не только численности животных, но и изменение видового состава, что свидетельствует об упрощении природных комплексов, снижении устойчивости к неблагоприятным антропогенным факторам.

Цель природоохранной стратегии в рекреационных лесах состоит в разработке рекомендаций по рациональному размещению рекреационной инфраструктуры и установлении режимов использования, не приводящих к деградации насаждений.

Оптимизация лесохозяйственных мероприятий, направленных на сохранение и повышение рекреационной устойчивости, а также усиление санитарно-гигиенических функций и эстетических характеристик насаждений, возможна только при условии установления объективных показателей их состояния. В качестве обобщенного показателя состояния используются значения степени дигрессии. Дигрессия (от латинского *digression*) означает отклонение, в нашем смысле – нарушение насаждения.

В разработке теории рекреационной дигрессии приняли участие многие ученые (Казанская, Ланина, 1975; Казанская и др., 1977;

Репшас, 1978; Данчева и др., 2014; Бунькова, Залесов, 2016). Общий вывод проведенных исследований – степень рекреационной дигрессии лесного насаждения зависит от изменения состава и структуры всех его компонентов. Однако скорость дигрессии каждого из компонентов характеризуется значительной индивидуальностью. При рекреационной дигрессии насаждений медленнее всего меняется древостой, и очевидные признаки ухудшения его санитарного состояния проявляются на этапе, когда процесс деградации зашел достаточно глубоко, и вернуть насаждение к исходному состоянию лесоводственными методами далеко не всегда представляется возможным. Не случайно для установления начальных стадий дигрессии используется не показатель санитарного состояния древостоев, а другие показатели, характеризующие чаще всего изменение ЖНП, подростка, подростка, лесной подстилки и других компонентов насаждения. Ботаник Э. А. Репшас отмечает, что для диагностики рекреационной дигрессии сосновых насаждений можно использовать 13 различных показателей: вытаптывание до минеральной части почвы (%), проективное покрытие ЖНП (%) и его надземную массу ( $\text{г}/\text{м}^2$ ), мощность лесной подстилки (см), твердость поверхностного 0 ... 10-сантиметрового слоя почвы ( $\text{кг}/\text{см}^2$ ), долю поврежденного подростка и подростка (%), долю деревьев с поврежденными стволами (%), массу мелких корней в верхнем 0 ... 10-сантиметровом слое почвы (%), длину хвои (см), массу 100 пар хвоинок (г), радиальный прирост деревьев (мм), запас древесины ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) и полноту древостоя.

Наиболее наглядно рекреационная дигрессия в лесах проявляется на живом напочвенном покрове. Виды растений, образующих ЖНП в лесу, особенно уязвимы в тех случаях, когда начинает действовать фактор рекреации.

Под влиянием рекреационной нагрузки изменяется и обедняется видовой состав ЖНП. Из него исчезают многие лесные (в первую очередь декоративные) виды и появляются сорные растения, способные переносить повышенную инсоляцию, плотность и сухость почвы (горец птичий, подорожник, одуванчик и др.). Из лесных и лесолуговых видов наиболее устойчивы к уплотнению почвы и травмированию злаки и осоки (Онуфриенко и др., 1985). Значительное возрастание участия в составе живого напочвенного покрова сорных трав, особенно злаков, способствует сильному задернению почвы. О высокой приспособляемости видов, доминирующих в травостое вытоптаных участков, свидетельствует тот факт, что, даже находясь у предела своего существования, они проходят все фазы развития, в частности,

их возобновление осуществляется семенами, а не только путем вегетативного прорастания с обочин тропы (Горышина, 1983).

В качестве критериев степени рекреационной дигрессии используются состояние ЖНП и степень вытаптывания. Стадии имеют следующие отличительные особенности (Рысин, 1983; Временная методика ..., 1987):

1) ЖНП состоит исключительно из типичных видов растений, тропиноподобная сеть отсутствует;

2) в составе ЖНП появляются луговые и сорные виды, до 10 % площади занимают тропинки;

3) типичный для данных условий ЖНП сохраняется примерно на 50–60 % площади участка; остальную часть площади занимают группировки лугово-лесных и сорных видов и тропинки (до 20–30 %);

4) олуговелость характерна для большей части площади;

5) усиленному рекреационному воздействию подверглись 80–90 % площади, типичные лесные виды сохраняются лишь на 5–10 % территории.

Учитывая вышеизложенное, многие исследователи сходны во мнении о возможности использования состава и структуры ЖНП в качестве эффективного индикатора для установления стадии рекреационной дигрессии. Примерами могут служить шкала установления стадии антропогенной дигрессии, разработанная Г. А. Поляковой (Полякова, 1979), или шкала А. И. Тарасова (Тарасов, 1986).

### **Шкала Г. А. Поляковой**

I стадия. Почти полностью отсутствует нарушенность всех компонентов насаждения. ЖНП состоит из типичных лесных видов растений, нет сорных, луговых и пионерных видов. Тропиноподобная сеть не выражена.

II стадия. Живой напочвенный покров изменяется незначительно. Площадь троп не превышает 10 %. В густых насаждениях или под пологом кустарников тропиноподобная сеть лишена растительности, в более разреженных и осветленных лесах появляются луговые сорные виды.

III стадия. Площадь троп достигает 20–30 %. Площадь, занятая типичной лесной растительностью, составляет не менее 50–60 %.

IV стадия. Площадь сбоя (минерализованной поверхности) – 50–60 %. В осветленных лесах олуговлено до 40–60 % площади.

V стадия. Полностью отсутствуют лесные виды, доминируют мятлик однолетний, подорожник большой или птичья гречиха. До 50 % площади лишено напочвенного покрова.

### Шкала А. И. Тарасова

При установлении стадии рекреационной дигрессии рекомендуется использовать показатель доли вытоптанной площади.

Первая стадия. Характеризуется ненарушенной, упругой под ногами подстилкой, полным набором видов травянистых растений, свойственных данному типу леса, многочисленным разновозрастным подростом. Повреждения подроста и подлеска не более 5 %. Древо-стои высокополнотные.

Вторая стадия. Намечаются тропинки, которые занимают 2–15 % площади. Начинаются вытаптывание подстилки и проникновение опушечных видов под полог леса.

Третья стадия. Значительно снижается мощность подстилки. Начинается изреживание древостоя (до 10 %), повреждение подроста и подлеска достигает 50–95 %. Увеличивается освещенность, что приводит к внедрению луговых и даже сорных трав под полог леса. Вытоптанные, выбитые участки составляют 5–30 % площади.

Четвертая стадия. Лес приобретает своеобразную структуру – чередование куртин ненадежного подроста и подлеска среди полян и тропинок. На полянах полностью разрушена подстилка, разрастаются луговые травы, происходит задернение почвы. Выбитые участки занимают 15–60 % площади.

Пятая стадия. Значительная часть площади лишена растительности, сохранились только пятна сорняков и однолетников. Подрост и подлесок занимают менее 5 % площади. Резко увеличивается освещенность. Все деревья больные или с механическими повреждениями. У значительной части деревьев корни обнажены и выступают на поверхность. Выбитые участки составляют 40–100 % площади.

При постоянных рекреационных нагрузках отмечается четко выраженный переход от первой стадии дигрессии к пятой. Под влиянием рекреационных нагрузок деревья приобретают разные признаки патологий, появляются заболевания и происходит их заселение стволовыми вредителями, снижается радиальный прирост оставшихся деревьев. Наблюдается целый ряд негативных изменений в структуре и состоянии подроста: изменяется породный состав подроста, уменьшается доля участия сосны и увеличивается доля лиственных пород, уменьшается количество жизнеспособного подроста, уменьшается средний годичный прирост в высоту.

## **Глава 4**

### **ИЗУЧЕНИЕ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА**

Как отмечалось ранее, наиболее динамичным компонентом лесного насаждения, оперативно реагирующим на воздействия природного и антропогенного характера, является живой напочвенный покров. Не случайно именно характеристики ЖНП вошли практически во все применяющиеся в настоящее время шкалы рекреационной дигрессии. Последнее обстоятельство вызывает необходимость более детального изучения ЖНП, а также анализа сходства и различия показателей ЖНП различных фитоценозов.

#### **4.1. Основные положения по изучению живого напочвенного покрова**

Живой напочвенный покров – одна из составляющих частей любой лесной экосистемы, оказывающая существенное влияние на течение многих биоценологических и сукцессионных процессов. Знание закономерностей его формирования и развития, особенно в культурценозах, доля которых в лесном фонде России и других государств неуклонно растет, важно для теории и практики лесоводства. Значимость данной проблемы резко возросла в настоящее время в связи с провозглашением Генеральной Ассамблеей ООН 2010 года годом биоразнообразия, ратификацией Госдумой Российской Федерации международной Конвенции «О биологическом разнообразии» и принятием на себя определенных обязательств. В этом документе отмечено, в частности, что правительственным и неправительственным организациям следует расширить мониторинговые наблюдения за состоянием биологического разнообразия на конкретных природных объектах и долгосрочные исследования по поддержанию устойчивости и продуктивности экосистем.

Основные термины и определения, используемые при изучении состояния подлеска и ЖНП, приведены в Приложении 1.

Живой напочвенный покров представляет собой очень важную структурную и энергетическую часть лесных насаждений и играет большую роль в процессах обмена веществ и энергии в них (Дылис, 1978). Исследованиями многих ученых установлено, что на любое значительное нарушение структуры древостоя лесное насаждение реагирует изменением состава и строения нижних ярусов (Луганский и др., 1978; Залесов и др., 2013).



Живой напочвенный покров как неотъемлемая часть лесного фитоценоза является индикатором лесорастительных условий. Обладая большой зольностью, ЖНП способен регулировать микроклиматические и микробиологические процессы в лесу, оказывать влияние на температуру, распределение осадков, испарение влаги. Например, на вырубках злаки развивают густую поверхностную корневую систему, препятствуя вымыванию из почвы подвижных веществ, стабилизируют почвенное плодородие. От ЖНП зависят жизненные процессы древесных растений на ранней стадии развития (Любославский, 1916; Винер, 1962; Мелехов, 1980). Видовой состав, надземная фитомасса и проективное покрытие ЖНП определяют декоративные и санитарно-гигиенические свойства насаждений, являются носителями разнообразной информации о состоянии экосистем в условиях антропогенного пресса и четкими индикаторами состояния насаждения на начальном этапе дигрессии насаждений (Казанская, 1971; Казанская, Ланина, 1975).

Живой напочвенный покров является кормовой базой и средой обитания лесной фауны, пищевых, кормовых, лекарственных, декоративных, медоносных, редких и охраняемых растений (Годовалов и др., 2018).

Все вышеизложенное свидетельствует о необходимости проведения детальных исследований ЖНП с целью установления его изменений на самых ранних этапах и принятия адекватных мер, препятствующих сокращению биоразнообразия и способствующих сохранению устойчивости лесных экосистем.

В состав живого напочвенного покрова принято включать травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы. В изучении подростка, подлеска и живого напочвенного покрова много общего, во всех случаях оцениваются следующие показатели: видовой состав, доминирующие виды, проективное покрытие (или сомкнутость полога) и встречаемость видов, обилие, жизненное состояние растений (здоровое, поврежденное, сухое), высота ярусов и подъярусов, характер размещения (равномерное, куртинное) растений. В состоянии ЖНП дополнительно фиксируется задерненность (сплошная, средняя, слабая, отсутствует), высота яруса и подъярусов, а для мохового яруса определяется высота живого и мертвого слоев.

Изучение подлеска и живого напочвенного покрова осуществляется на учетных площадках, закладываемых в границах ППП, при этом размер учетных площадок на крупных ППП (от 0,5 до 1,0 га) зависит от изучаемого компонента насаждения. Для изучения подлеска

учетными площадками должно быть охвачено 50–200 м<sup>2</sup>, травяно-кустарничкового яруса – 100 м<sup>2</sup>, мохового яруса – около 20–30 м<sup>2</sup>, а лишайникового яруса (на почве) – 5–10 м<sup>2</sup>. В случае использования временных пробных площадей (ВПП) небольшого размера изучение подлеска и живого напочвенного покрова ведется на всей пробной площади. При равномерном ЖНП число наблюдений (число учетных площадок) должно составлять около 20, что обеспечит точность определяемой величины  $\pm 5\%$ .

Непосредственное изучение как ЖНП в целом, так и его отдельных видов следует начинать с выявления полного видового состава и обилия видов.

**Видовой состав** сообщества – это совокупность всех видов, произрастающих в нем. Видовой состав является важнейшей характеристикой любого фитоценоза, отражающей экологические особенности формирования сообщества, его динамику, так как зависит не только от продолжительности существования самого фитоценоза, но и от его истории. Количество видов в каждом фитоценозе различно, при этом каждый конкретный фитоценоз характеризуется строго определенным видовым составом. Чем больше условия произрастания видов приближаются к оптимальным, тем богаче набор видов. Как правило, молодые, только формирующиеся сообщества состоят из меньшего количества видов по сравнению с более зрелыми. Фитоценозы, созданные человеком или испытывающие высокую антропогенную нагрузку, как правило, беднее по набору видов, чем природные экосистемы, не измененные человеком.

Лесные сообщества по видовому составу ЖНП отличаются от луговых. Темнохвойный лес отличается от смешанного и лиственного, поэтому, чем полнее выявлены виды, тем большую информацию получает исследователь для характеристики растительного сообщества. Образцы не установленных в лесу видов ЖНП собираются в гербарий для дальнейшего определения по определителям (Вакар, 1964; Определитель ..., 1994, Куликов, 2010 и др.) или для консультации со специалистом-ботаником. При определении растений принимаются во внимание все признаки, которыми характеризуется растение (корни, стебли, листья, цветы, соцветия, плоды), поэтому в качестве гербарных экземпляров нужно отбирать растения по возможности целиком, т.е. с корнями, листьями, цветками и плодами. При сушке гербария нужно следить за тем, чтобы растения, особенно венчики цветков, не изменили своей окраски, не обесцветились и не пожелтели. Собранные растения следует укладывать на сушильный лист

гербарной бумаги так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Если растение крупное, достаточно положить на лист бумаги одно растение. Некрупных растений можно положить несколько при условии, чтобы их части не налегали друг на друга. Каждому гербарному экземпляру растения присваивается номер. Далее растение определяется по соответствующим определителям. Определить растение – значит определить его систематическое положение, т.е. найти, к какому семейству, роду и виду оно принадлежит. Вид – основная единица в современной систематике. Научное название вида дается на русском и латинском языках с указанием автора, впервые данный вид описавшего. Например, вид *Линнея северная* имеет латинское название *Linnaea borealis* L. Близкие виды соединяются в род, а роды по целому ряду сходных признаков – в семейства.

**Флористическое (видовое) богатство** (альфа-разнообразие) – это количество видов, произрастающих в данном сообществе (на данной ППП). По числу видов фитоценозы могут быть *флористически простыми* и *флористически сложными*. Флористически простые фитоценозы из 1–2 видов состоят преимущественно из низших растений, водорослей, поселяющихся на незаселенных участках, например налеты сине-зеленых водорослей на остывающей лаве. Маловидовые сообщества из высших растений в природе встречаются редко, даже самые бедные по видовому составу фитоценозы включают несколько десятков видов, т.е. являются флористически сложными, принадлежащими к разным систематическим группам и фитоценотипам.

Для более глубокого анализа флористического богатства подсчитывают не только общее количество видов в фитоценозе, но и их соотношение по систематическим (лишайники, мхи, высшие споровые, голосеменные, цветковые), фитоценотическим группам (лесные, луговые, степные, виды каменистых местообитаний и др.) или жизненным формам (деревья, кустарники, полукустарники и полукустарнички, травы: однолетние, многолетние, корневищные и др.).

На формирование флористического богатства влияют многие факторы, в том числе видовое разнообразие района исследований и экологические условия местообитания фитоценоза. Однако не меньшее влияние на флористическое разнообразие оказывает действие внешних по отношению к сообществу факторов, в первую очередь антропогенных. Поэтому изменение флористического разнообразия может дать представление о динамических тенденциях сообщества, в том числе его антропогенных изменениях. Видовой состав выявляется, как правило, на всей ППП, однако в некоторых случаях можно

ограничиться выявлением видов на учетных площадках. Для этого количество учетных площадок должно быть достаточно большим (репрезентативным), отражающим видовую структуру всего фитоценоза.

Видовое разнообразие оценивается не только через абсолютные показатели количества видов в фитоценозах, но и с помощью индексов разнообразия. В фитоценологии наиболее распространены индексы Шеннона – Вивера, Маргалефа, Симпсона и др. (Миркин, Розенберг, 1983). Среди них наиболее часто используемым является *индекс разнообразия Шеннона (H)*, определяемый по формуле

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i, \quad (3)$$

где  $p_i$  – доля каждого вида в сообществе.

Количественное участие видов в видовой структуре биоценоза оценивается разными показателями, к которым относятся *обилие видов, встречаемость и доминирование*.

**Обилие вида** – это оценка роли вида в фитоценозе с помощью количественных показателей или балльных оценок (Миркин, Розенберг, 1983). Обилие может быть выражено количеством особей на единицу площади или объема пространства, занимаемого особями вида, биомассой, производимой видом (табл. 13).

Таблица 13

Показатели обилия вида (Миркин, Розенберг, 1983)

Количественные критерии	Обилие одного растения	Обилие вида на единице площади	Сообщество на единице площади
Количество особей	–	<i>Численность</i> вида (количество особей вида)	<i>Видовое разнообразие</i>
Площадь покрытия	<i>Индивидуальное проективное покрытие</i>	<i>Проективное покрытие</i> вида	<i>Общее проективное покрытие</i> видов в сообществе
Объем	Объем, занимаемый особью	Объем, занимаемый видом	Объем, занимаемый сообществом
Масса	Масса особи	Масса вида ( <i>биомасса, фитомасса</i> )	Масса всех видов сообщества ( <i>общая биомасса</i> )

Обилие вида – признак лабильный, подверженный сезонным, пространственным (от одного фитоценоза к другому) и временным (сукцессионным) изменениям, поэтому учет обилия является важной характеристикой фитоценоза. Одним из показателей обилия вида

является его *численность*, т. е. общее количество особей вида, составляющих его популяцию или присутствующих в данном сообществе.

Подсчет количества экземпляров растений проводится на учетных площадках, величина которых зависит от размеров растения. Чем крупнее растение, тем больше должна быть учетная площадь. Травянистые растения обычно учитывают на площадках от  $0,25 \text{ м}^2$  ( $0,5 \times 0,5$ ) до  $1 \text{ м}^2$  ( $1 \times 1 \text{ м}$ ). Учитывают только те особи или побеги, основания которых располагаются в границах учетных площадей. Одновременно с подсчетом количества экземпляров измеряют высоту растений, диаметр стеблей (диаметр стволов на высоте 1,3 м), диаметр дерновин или подушек у дерновинных и подушковидных растений.

Различные методы оценки учета обилия видов предложены А. Г. Вороновым (Воронов, 1973). Обилие вида может быть также выражено через проективное покрытие – часть поверхности, занятой проекцией общего контура растения на поверхность почвы (рис. 1).

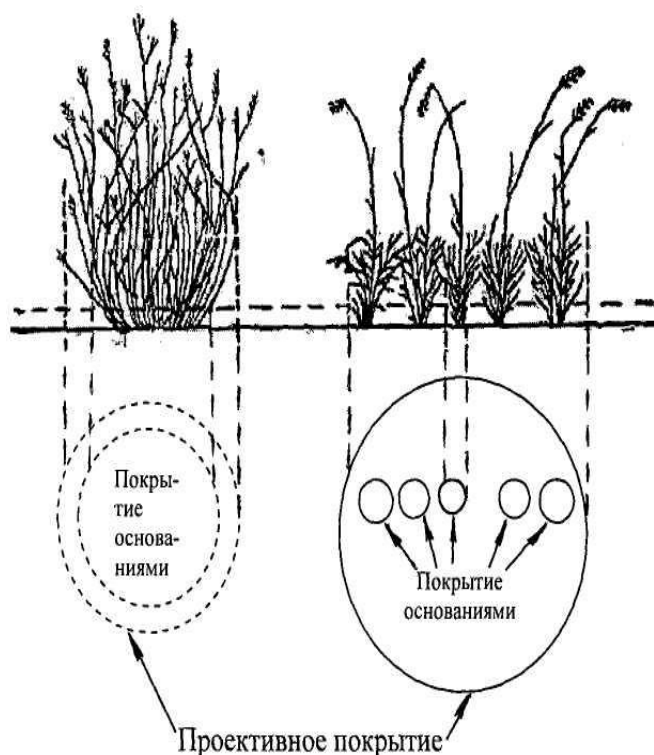


Рис. 1. Проективное покрытие основаниями стеблей и надземными частями растений: пунктирные линии – максимальное покрытие листьями; сплошная линия – покрытие основаниями растений

Можно говорить об общем проективном покрытии почвы всеми деревьями, кустарниками или травами или о частичном покрытии одним видом (Понятовская, 1964). Для оценки проективного покрытия отдельных видов на всей ППП применяют квадрат-сетку Раменского,

которая представляет собой рамку со сторонами  $1 \times 1$  м, разделенную на квадраты  $10 \times 10$  см. Вся площадь сетки составляет 100 %, каждый квадрат соответствует 1 %. Последовательно определяя процент заполнения квадратов сетки видами ЖНП, устанавливаются проективное покрытие каждого вида. Сумма проективного покрытия особей вида во всех 100 квадратах сетки составит его общее покрытие. Проективное покрытие вида на ППП будет равно среднему значению проективных покрытий вида на всех учетных площадках (сетках Раменского). Проективное покрытие всех видов вычисляется суммированием покрытий на каждой учетной площадке и вычислением среднего значения между всеми учетными площадками.

Покрытие указывается в десятых долях от единицы или в процентах из 100 %. Покрытие считается сплошным при показателе 0,9–1,0 (90–100 %), густым – 0,7–0,9 (70–90 %), среднегустым – 0,4–0,7 (40–70 %) и редким – менее 0,4 (40 %).

В некоторых случаях размер учетных площадок может снижаться до  $0,5 \times 0,5$  ( $0,25 \text{ м}^2$ ). Мелкие учетные площадки применяются, например, при описании мохово-лишайникового яруса. На них определяются проективное покрытие, по возможности видовой состав и доминирующая группа видов мхов и лишайников.

**Встречаемость** – другая важная характеристика роли вида в сообществе. Встречаемость, или частота встречаемости, – это количество учетных площадок, на которых встречается вид, по отношению к общему количеству заложённых площадок, выраженное в процентах. Встречаемость отражает равномерность распределения вида на определенной территории (например, на территории ППП) и находится в зависимости от обилия и характера размещения растений. Связь встречаемости с обилием показана на рис. 2 (Воронов, 1973).

Показатели встречаемости используются для расчетов *постоянства* вида. Постоянство представляет отношение числа выборок, содержащих данный вид, к общему числу выборок, выраженное в процентах. В зависимости от значений постоянства виды делятся на *постоянные*, *добавочные* и *случайные*. *Постоянные* виды встречаются в более чем 50 % выборок, *добавочные* – в 25–50 % выборок, *случайные* – менее чем в 15 % выборок.

*Размещение* видов в пространстве характеризует сложение растительного сообщества по горизонтали. Этот показатель связан с неоднородностью растительного покрова, причинами которой являются мозаичность местообитаний, различия в экологии и биологии видов, особенностях размножения, взаимоотношениях между видами и т.д.

(Понятовская, 1964). По характеру размещения различают равномерное, случайное и групповое (куртинное) размещение, причем величина, густота, форма и происхождение куртин или зарослей могут быть разными (рис. 3).

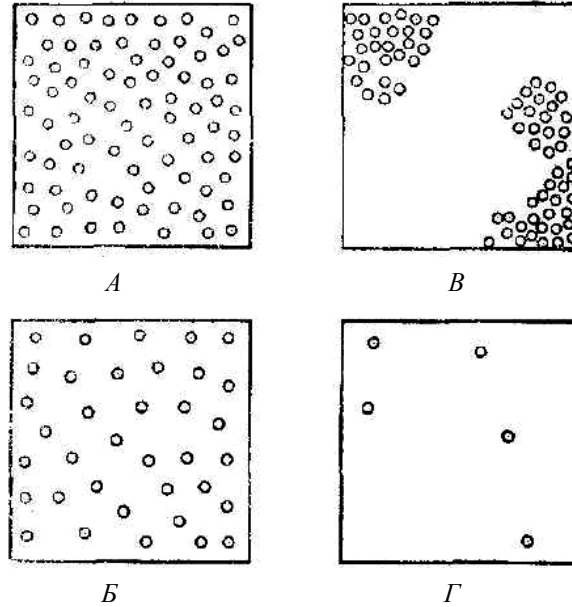


Рис. 2. Соотношение между обилием и встречаемостью:  
 А – большое обилие и большая встречаемость; Б – среднее обилие и значительная встречаемость; В – значительное обилие и малая встречаемость;  
 Г – малое обилие и малая встречаемость

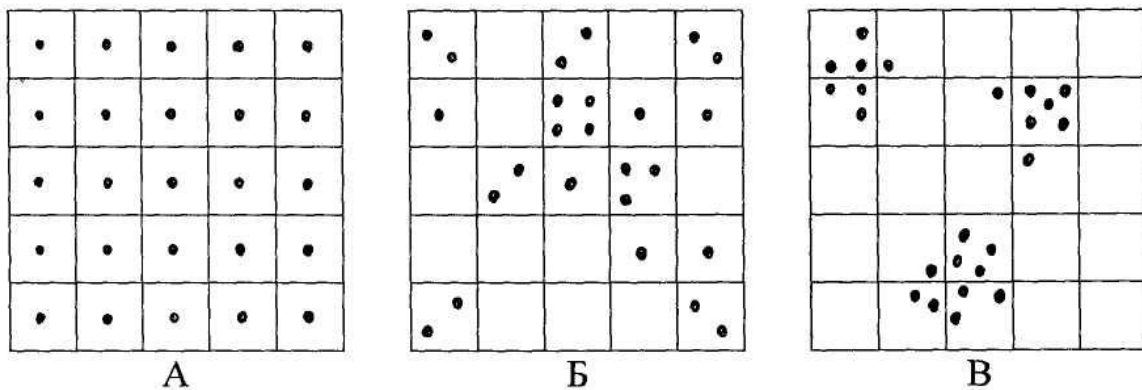


Рис. 3. Типы размещения растений в сообществах:  
 А – равномерное; Б – случайное; В – групповое

При *равномерном* размещении растений особи удалены друг от друга на равное расстояние, что в природе встречается редко, например в одновидовых зарослях. Равномерное распределение свойственно также искусственно созданным лесным насаждениям.

Особенности среды обитания в природе характеризуются большей или меньшей неоднородностью, что создает условия для неравномерного распределения растений, свойственного случайному (диффузному) и групповому (мозаичному) типам. При *случайном* (диффузном) распределении особи размещены в пространстве неравномерно, случайно, расстояния между ними неодинаковы. Случайное распределение широко представлено среди растений. При *групповом* (мозаичном) типе особи образуют между собой группировки (куртины, латки), между которыми образуются иногда довольно большие расстояния. Внутри группировок особи находятся с большой плотностью (плотностью). Это очень широко распространенный тип размещения растений в природных сообществах.

Одна из систем обозначений характера размещения особей разработана В. Н. Сукачевым (Сукачев, Зонн, 1961):

0 – особь развивается от корня 1, реже 2–3 надземных побега;

ПЧ – стебли растут пучком или кустом от одного корня или корневища, стеблей немного;

Д – большое количество многолетних побегов образует плотную дерновину, или подушку;

Л – побеги образуют рыхлую заросль, латку вследствие разрастания растения корневищами, корнями или ползучими стеблями;

К – растения образуют куртину (отдельные особи располагаются близко друг к другу);

ПТ – пучки, дерновины, заросли, латки или куртины образуют пятна.

Разные типы пространственного распределения особей снижают уровень конкуренции и обеспечивают наиболее полное использование ресурсов среды, что лежит в основе поддержания высокого уровня продуктивности вида (Шилов, 2001).

**Доминирование** – еще один показатель вида. Сравнивая количественные показатели обилия видов, выявляют *доминирующие виды*, т.е. виды, преобладающие по обилию (по количеству особей, проективному покрытию, биомассе, объему и т.п.) над другими видами в фитоценозе. Доминирующие виды обладают в данном фитоценозе большей ролью по сравнению с другими видами, что выражается в более высокой численности, больших проективном покрытии и биомассе. Если вид представлен в сообществе большим обилием, а отдельные его экземпляры хорошо развиты, проходят полный цикл развития и нормально размножаются, можно говорить о существовании вида в оптимальных для него условиях. Как правило,



в многоярусном лесном сообществе доминанты выделяются для каждого яруса. По доминирующим видам дают названия наземным биоценозам, выделение доминирующих видов лежит в основе классификации типов леса, называемой физиономической. Так, доминантами сосняка зеленомошного являются сосна в древостое и зеленые мхи в живом напочвенном покрове, доминантом вейниковой вырубki являются виды рода вейник и т.д. Все полученные данные заносятся в бланки описаний (табл. 14, 15).

Таблица 14

Образец бланка описания подлеска

Вид	Возраст, лет	Количество экземпляров, шт.			Средний диаметр куста, м	Средняя высота куста, м
		здоровых	поврежденных	сухих		

Таблица 15

Образец бланка описания ЖНП

Вид растения	№ учетной площадки						Обилие	Высота, см	Встречаемость, %
	1	2	3	4	...	...			

При некоторых видах исследований подробных описательных характеристик бывает достаточно (например, при определении типа леса или составлении карт ареалов произрастания видов). Но при ресурсной оценке наиболее важными являются весовые показатели. Для учета продукции того или иного вида или всего живого напочвенного покрова на ППП закладывают специальные учетные площадки, равномерно покрывающие всю пробную площадь.

Количество и размер учетных площадок зависит от характера напочвенного покрова. При более густом и высоком травянистом ярусе размер учетных площадок уменьшается, а их общее количество возрастает. Например, при изучении запасов брусники в сосняках

бруснично-зеленомошных Западной Сибири, где живой напочвенный покров однородный, достаточно заложить 10 площадок размером  $1 \text{ м}^2$ , а при изучении запасов кормовых ресурсов на полянах, где обильный многовидовой травостой, целесообразно закладывать 20–25 учетных площадок размером  $20 \times 25$  или  $20 \times 50$  см. Количество учетных площадок определяется опытным путем. Оценку необходимого количества наблюдений следует вести исходя из изменчивости урожайности. Для определения необходимого количества наблюдений применяется общепринятая формула

$$n = \frac{C_V^2}{P_V^2}, \quad (4)$$

где  $n$  – необходимое количество наблюдений;

$C_V$  – коэффициент изменчивости, %;

$P_V$  – точность определения средней величины, %.

При исследованиях подобного характера за нижний предел точности принимается величина  $\pm 10\%$ . После подстановки этой величины в квадрате получаем формулу

$$n = \frac{C_V^2}{100}, \quad (5)$$

где  $C_V^2$  определяется опытным путем или по литературным данным.

Коэффициент изменчивости может варьироваться в больших пределах (от 20 до 80 %). В учебных целях рекомендуется принять его равным 30 %. Возможно совмещение учетных площадок для общего описания ЖНП.

Живой напочвенный покров на учетных площадках срезается на уровне почвы. Укосы рекомендуется проводить при максимальной вегетативной массе растений, в период цветения большинства видов. В условиях таежной зоны это соответствует третьей декаде июля. Если планируется изучить динамику общей массы ЖНП или отдельных его видов в течение вегетационного периода, укосы проводятся периодически через установленные периоды, предусмотренные программой исследований. Срезанная масса ЖНП упаковывается в бумажные пакеты и маркируется. На пакете указываются номер пробной площади и номер учетной площадки, например, 1–1, 1–2 и т.д.

Дальнейшая обработка полевых материалов проводится в камеральных условиях. Она сводится к систематизации и статистической обработке.

Образцы, взятые для определения массы ЖНП, в первую очередь сортируются по видам. Растения каждого вида взвешиваются в свежем состоянии, и от каждой навески отбирается образец для определения гигроскопической влажности. Для определения влажности образцы высушиваются в сушильных шкафах при температуре 105 °С и взвешиваются уже в абсолютно сухом состоянии с точностью до 0,01 г. Для определения степени высушенности проводят контрольные взвешивания 3–4 раза в течение дня. Если масса не изменяется, то образцы достигли абсолютно сухого состояния. Все количественные показатели обрабатывают статистически и переводят в г/м<sup>2</sup>, ц/га, т/га.

При сортировке неизвестных свежесобранных растений рекомендуется последние собирать в гербарий.

Если подлесок имеет незначительное развитие, небольшую высоту и равномерное распределение по площади, то при определении его запасов можно использовать методику, предложенную выше для живого напочвенного покрова. При очаговом размещении подлеска учет рекомендуется делать двумя перекрестными ленточными площадками (трансектами) шириной около одного метра, прокладываемыми в направлениях С-Ю и З-В (Родин и др., 1968). Предварительно на миллиметровой бумаге оконтуриваются группы подлеска. Ленты прокладываются в трех контурах – малом, среднем и крупном. Учетные площадки закладывают либо сплошной лентой, либо через равные расстояния. Это зависит от размера отдельных экземпляров. В камеральных условиях определяют средние показатели. Затем, зная проективное покрытие подлеска, определяют его запас.

Иногда применяется *метод модельных экземпляров*. Этот метод целесообразен тогда, когда объектом исследования являются кустарники или крупные встречающиеся рассеянно экземпляры травянистых растений. Обязательным условием применения данного метода является возможность четкого определения границ экземпляра. Для определения урожайности вида методом модельных экземпляров необходимо получить два показателя – густоту (плотность), т.е. количество экземпляров на единице площади, и среднюю массу одного экземпляра.

Густота определяется либо на пробной площади, либо по маршрутным ходам (ширина задается в зависимости от размера объекта). Самое главное – точное определение площади исследований. Для подсчета массы в пределах учетных площадок или маршрутов берутся для взвешивания модельные экземпляры.

Если подлесок сконцентрирован на небольшой площади и приурочен к определенным элементам ландшафта, например заросли черной смородины вдоль ручьев, то целесообразно совместить два показателя: массу вида внутри заросли, указывая при этом ее проективное покрытие, и средний запас на площади угодья.

Результаты маршрутных обследований заносятся в сводную ведомость (табл. 16).

Таблица 16

Сводная ведомость лесных ресурсов при маршрутных исследованиях (указывается вид ресурса)

Лесничество, квартал, выдел	Тип леса, рельеф, почва	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Масса средней модели, г	Покрытие, %	Запас, г/м <sup>2</sup>	Площадь заросли, га
...	...	...	...	...	...	...
Итого						

Для мониторинга лесных сообществ на заложенных ППП снимается полная информация о современном состоянии растительности. Наблюдения проводятся не менее трех лет ежегодно по всем показателям для изучения естественной динамики фитоценозов в условиях погодичных климатических флуктуаций. При этом выбираются наиболее подходящие для мониторинговых наблюдений признаки. Далее система мониторинговых наблюдений функционирует в намеченном режиме, параметры намеченных признаков фиксируются ежегодно или один раз в 3–5 лет.

#### 4.2. Шкалы проективного покрытия

Шкалы проективного покрытия (англ. scale of coverage) – это балльные глазомерные оценки покрытия. Шкалы проективного покрытия делятся на **асимметричные неравнодистанционные и симметричные равнодистанционные**.

К первым относятся:

– шкала Р. Хульта (R. Hult) – до 6,25; 6,25–12,5; 12,5–25; 25–50 и более 50 %;

– шкала Р. Сернандера (R. Sernander) – до 5; 5–10; 10–20; 20–50 и более 50 %;

– шкала Ж. Браун-Бланке (J. Braun-Blanquet) – до 5, 5–25, 25–50, 50–75 и выше 75 %;

– шкала Р. Тюксена (K. Tuxen) – Г. Элленберга (H. Ellenberg) – до 10, 10–25, 25–50, 50–75 и выше 75 %;

– шкала Л. Г. Раменского – до 2,5, 2,5–5, 5–10, 10–15, 15–25, 25–50 и выше 50 %;

– шкала Т. А. Работнова – до 1, 1–5, 5–10, 10–20, 20–50 и выше 50 %;

– шкала Б. М. Миркина – до 5, 5–15, 16–25, 25–50 и выше 50 %.

Ко вторым относятся:

– шкала равномерная – до 10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50, 50–60, 60–70, 70–80, 80–90 и выше 90 %;

– шкала Р. Даубенмайера (R. Daubenmire) – до 5, 5–15, 15–30, 30–50, 50–70, 70–85, 85–95 и выше 95 %;

– шкала А. Л. Расиньша – до 5, 5–15, 25–50, 50–75, 75–95 и выше 95 %.

Равномерные шкалы менее удобны в практической работе, так как на разных отрезках градиента покрытия разрешающая способность визуального учета неодинакова. Предпочтение следует отдавать шкалам с логарифмически возрастающими интервалами. Эксперименты по совпадаемости учетов разных исследований с использованием таких шкал показали их высокую эффективность. Кроме того, работа с 5-балльными шкалами требует значительно меньшего количества повторностей (для 5-балльных – 15, для 9-балльных – 60, для 17-балльных – 250 повторностей, по Расиньшу). При меньшем количестве повторностей смежные баллы перекрываются доверительными интервалами (Воронов, 1973; Миркин, Розенберг, 1978; Работнов, 1983).

Наиболее часто используются следующие шкалы.

**Шкала Ж. Браун-Бланке** (J. Braun-Blanquet) – балльные оценки для объединенного определения проективного покрытия и обилия видов (численности видов): r – вид чрезвычайно редок с незначительным покрытием; + – вид встречается редко, степень покрытия мала; 1 – количество особей велико, степень покрытия мала или особей мало, но покрытие большое; 2 – количество особей велико, проективное покрытие от 5 до 25 %; 3 – число особей любое, проективное покрытие от 25 до 50 %; 4 – количество особей любое, проективное покрытие от 50 до 75 %; 5 – количество особей любое, покрытие более 75 % (Westhoff, Maarel, 1978).

На практике нередко ограничиваются применением менее точной балльной оценки, выделяя 5 степеней обилия (Степановских, 2001):

- 0 – отсутствие вида;
- 1 – вид встречается редко и рассеянно;
- 2 – вид встречается нередко;
- 3 – вид встречается обильно;
- 4 – вид встречается очень обильно.

**Шкала К. Домин (K. Domin)** – балльные оценки глазомерного учета обилия вида, мощности развития и покрытия проективного. Шкала включает следующие градации в модификации Э. Даля (E. Dahl): + – вид встречается единично, мощность развития ослаблена, покрытие незначительное; 1 – встречается в количестве одного-двух индивидуумов, покрытие незначительное; 2 – встречается в количестве нескольких индивидуумов при незначительном покрытии; 3 – большое количество особей при покрытии меньше 4 % общей площади; 4 – покрытие 4–10 %; 5 – покрытие 11–25 %; 6 – покрытие 26–33 %; 7 – покрытие 34–50 %; 8 – покрытие 51–75 %; 9 – покрытие 76–90 % и 10 – покрытие выше 90 %.

Таким образом, градации 4–10 баллов оценивают только проективное покрытие. Данная шкала достаточно широко распространена в Великобритании и ряде других стран. Недостатком шкалы является ее слишком дробный характер (Т.А. Работнов, например, предлагает объединить 6-ю и 7-ю градации – 26–50 %) (Westhoff, Maarel, 1978; Работнов, 1983).

**Шкала О. Друде (O. Drude)** – балльные оценки глазомерного учета обилия видов: soc. (лат. socialis – обильно) – растения смыкаются надземными частями; сор<sub>3</sub> (лат. copiosae – много) – растения очень обильны, сор<sub>2</sub> – растения обильны; сор<sub>1</sub> – растения довольно обильны; sp. (лат. sparsae – мало) – растения редки; sol. (лат. solitaries – очень мало) – растения единичны.

При натурной оценке обилия видов по шкале О. Друде (рис. 4) используются следующие придержки (Воронов, 1973):

- Soc. (socialis) – вид представлен сплошь, его растения покрывают изучаемую площадь более чем на 75 %;
- Сор<sub>3</sub> (copiosae) – вид представлен очень обильно, покрывает площадь на 50 – 75 %;
- Сор<sub>2</sub> (copiosae) – вид представлен обильно, на 35–50 %;
- Сор<sub>1</sub> (copiosae) – вид представлен довольно обильно, на 25–35 %;
- Sp. (sparsae) – вид представлен рассеянно, но не менее 20 %;

– Sol. (solitaries) – вид представлен единично, растения вида по площади встречаются единично;

– Un (unicum) – вид встречается в одном экземпляре.

К недостаткам шкалы в первую очередь относятся ее безмасштабность (т.е. отсутствие количественных придержек для оценки градаций) и фактическое определение покрытия проективного, а не обилия. Для определения проективного покрытия лучше пользоваться оценками, позволяющими вести контроль их суммированием (см. выше – шкалы проективного покрытия) (Шенников, 1984).

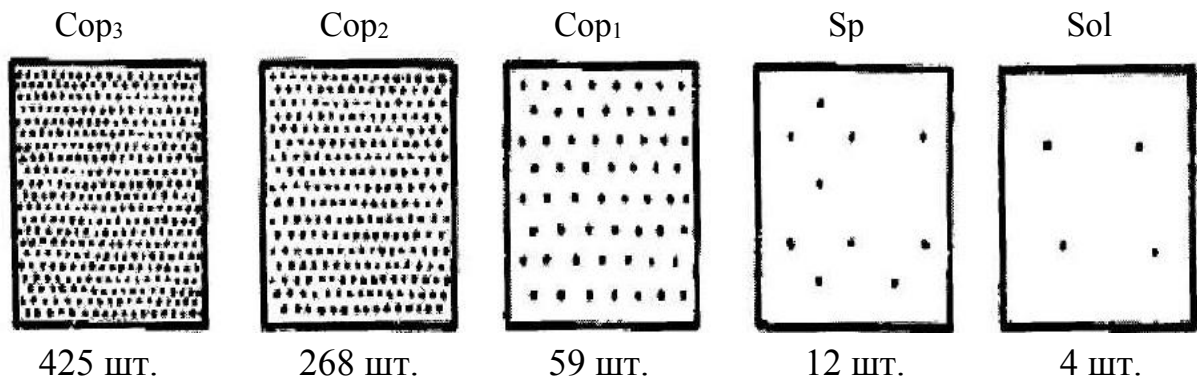


Рис. 4. Сравнительное сопоставление различных ступеней обилия по шкале О. Друде на площадках по 100 м<sup>2</sup> (точки представляют отдельные экземпляры, снизу под квадратами указано количество экземпляров)

**Шкалы жизненности (виталитета)** (англ. scale of vitality) – балльные оценки процветания популяции вида в сообществе. В 1922 г. была предложена четырехбалльная шкала Ж. Браун-Бланке и И. Павилларда (J. Braun-Blanquet, I. Pavillard): 1 – прорастание, но отсутствие развития вегетативных органов; 2 – ослабление с недостаточным вегетативным развитием и непрохождением всего большого жизненного цикла; 3 – хорошее вегетативное развитие, но непрохождение всего жизненного цикла; 4 – хорошее вегетативное развитие и прохождение всего жизненного цикла.

В отечественной фитоценологии большее распространение получила шкала А. А. Гроссгейма, предложенная в 1929 г., в которой последняя ступень шкалы Браун-Бланке и Павилларда разделена на две: 4 – вегетативное развитие, цветение и плодоношение выше нормального; 5 – пышное развитие и повышенное плодоношение и цветение. Некоторые исследователи считают, что для многих видов жизненность и генеративность независимы (или даже связаны обратной зависимостью) и предлагают строить независимые шкалы для отражения этих показателей (Westhoff, Maarel, 1978).

### 4.3. Другие методы оценки живого напочвенного покрова

**Метод сравнения распределения видов** – один из способов анализа распределения, основанный на сравнении реального распределения фитомассы, обилия вида, встречаемости вида по ППП (без учета их положения в пространстве) с некоторым теоретическим распределением (нормальным, Пуассона и др.). Метод обычно сам по себе не дает возможностей решения каких-либо фитоценологических задач, так как установление факта соответствия эмпирического распределения фитомассы вида тому или иному теоретическому распределению еще не позволяет ответить на вопрос, почему имеет место это явление и какова его фитоценологическая интерпретация. Однако по мере изучения вопроса появляется возможность интерпретировать некоторые случаи распределения. Так, в условиях луговой растительности (а также сеяных многолетних трав) соответствие распределения вида нормальному распределению индуцирует условия благоприятности фитоценологического режима для жизни популяции (Грейг-Смит, 1967; Миркин, Розенберг, 1978; Розенберг, 1984; Зайцев, 1984).

**Метод(ы) укосов** (англ. cut method) – определение биологической продуктивности путем отчуждения надземных частей растений и последующего их взвешивания. Методическая сложность использования метода заключается в необходимости оптимизации количества укосов в зависимости от величины учетной единицы (ППП), причем получаемые оптимизационные кривые для разных типов сообществ оказываются различными.

**Метод(ы) учета бесплощадочные** – исследование фитоценозов путем сбора информации о признаках фитоценозов (обилии видов, покрытии проективном и пр.) без закладки ППП широко распространено в лесоведении. Методы заключаются в измерении расстояния от фиксированной особи (или точки) до других особей данного или иного вида. Различают четыре основных метода: *метод ближайшей особи* (измеряют расстояние от точки учета, которая может и не совпадать с конкретной особью, до ближайшего экземпляра исследуемого вида), *метод ближайшего соседа* (измеряется расстояние от данной особи до ближайшей особи того же вида), *метод случайных пар* (соединяют точку учета с ближайшей к ней особью и проводят через точку учета линию, перпендикулярную этой прямой; два прямых угла называют углами исключения и измеряют расстояние от первого экземпляра в точке учета до ближайшего к нему, лежащего вне углов



исключения) и *метод квадрантов* с центром в точке (делят взаимно перпендикулярными прямыми, проходящими через точку учета, область на четыре квадранта, измеряют расстояние от точки учета до ближайшего экземпляра в каждом квадранте и берут среднюю величину) (Василевич, 1969).

Для определения *коэффициента дискриминации* ( $Pr$ ) используют формулу (Шмидт, 1984)

$$Pr = \frac{X+Y+Z}{X+Y-Z}, \quad (6)$$

где  $X$  – количество видов, встречающихся в первом списке, но отсутствующих во втором;

$Y$  – количество видов, встречающихся во втором списке, но отсутствующих в первом;

$Z$  – количество видов, встречающихся в обоих списках.

Данный коэффициент обладает следующей особенностью: варьируясь от  $-1$  до  $+1$ , он в пределах от  $-1$  до  $0$  указывает на сходство, а в пределах от  $0$  до  $+1$  – на различие (дискриминацию) видового состава сообщества.

Для *оценки динамики* существенных процессов использовались показатели общей динамичности (*Добщая*) и сукцессионной (*Дс*), вычисленные по формулам (Титлянова, Миронычева-Токарева, 1993):

$$Добщая = \frac{n_2+n_3+n_4}{n_1}, \quad (7)$$

$$Дс = \frac{n_2+n_3}{n_1}, \quad (8)$$

где  $n_1$  – виды, устойчиво существующие в сообществе;

$n_2$  – количество видов появившихся;

$n_3$  – количество выпавших за определенное время видов;

$n_4$  – флуктуирующие виды.

С помощью показателя сукцессионной динамики можно сравнить характер сукцессионных изменений в различных фитоценозах: если  $Д > 1$ , то количество замещающих видов больше количества существующих устойчиво, если  $Д < 1$ , то осуществляется противоположная ситуация. Показатель  $A = n_2/n_3$  отражает накопление (при  $A > 1$ ) или потерю ( $A < 1$ ) видов в сообществе (Титлянова, Миронычева-Токарева, 1993).

## Глава 5

### МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ О СОСТАВЕ И СТРУКТУРЕ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Выбор верного метода сбора данных для решения конкретной задачи предполагает в первую очередь четкую постановку целей работы. Еще до начала работы следует определить, что вы хотите получить в итоге и каким методом (или методами) обработки данных вы будете для этого пользоваться, так как разные математические методы требуют разных методик сбора исходного материала, и неверно собранный материал может лишить исследователя возможности получить достоверные выводы.

Основные методы сбора данных для описания растительного сообщества изложены в предыдущих главах. В этой главе рассмотрены основные методы обработки данных, сделан акцент на наиболее часто применяемых коэффициентах и индексах. К таковым относятся *индексы сходства и различия*, *коэффициенты корреляции* (оцениваются по количественным признакам) и *коэффициенты сопряженности* (оцениваются по качественным признакам).

#### 5.1. Индексы сходства и различия

Для сравнения сообществ используются индексы общности, учитывающие видовой состав и обилие видов. С помощью некоторых из них можно оценивать изменение видового разнообразия вдоль какого-либо градиента среды обитания.

*Коэффициенты общности* оценивают степень сходства объектов между собой. К коэффициентам общности относятся:

- меры расстояния (определяют меру различия двух или нескольких описаний). При использовании количественных данных (покрытие, фитомасса или обилие видов) в фитоценологии чаще всего вычисляют евклидово расстояние (Василевич, 1969);

- вероятностные и корреляционные меры (оценивают вероятность сходства объектов);

- коэффициенты связи и преобразований (проводят различные действия над мерами сходства и различия);

- собственно коэффициенты сходства и различия (основаны на данных по присутствию или отсутствию видов в сообществе, поэтому для их использования чрезвычайно важно как можно полнее выявить видовой состав сравниваемых сообществ).

Коэффициенты общности могут рассчитываться только на основе присутствия видов в сравниваемых списках без учета их отсутствия (*индексы сходства*) или на основе только отсутствия видов без учета их присутствия (*индексы отличия*) (табл. 17). В том и другом случае следует иметь в виду, что наличие или отсутствие видов в сообществе может носить случайный характер и не зависеть от условий произрастания, поэтому индексы флористического сходства и отличия не являются показателями сходства экологических условий местообитаний, фиксируя лишь степень общности видовых списков.

Таблица 17

Определение индексов общности (Лебедева и др., 2004)

А (количество общих видов для двух списков)	В (количество видов, имеющих только во втором списке)	С (общее количество видов во втором списке)
С (количество видов, имеющих только в первом списке)	D (количество видов, отсутствующих в обоих списках, но имеющих в других, в которые всего входит S видов)	C = D (количество отсутствующих видов во втором списке)
A = C (общее количество видов в первом списке)	B = D (количество отсутствующих видов в первом списке)	A + B + C + D = S (всего видов)

Наиболее простыми и распространенными показателями флористического сходства являются *коэффициент Жаккара* и *коэффициент Чекановского – Сьеренсена*.

Данные о степени общности ЖНП двух или нескольких изучаемых ППП, заложенных в одном или нескольких фитоценозах, можно получить на основании значений коэффициента Жаккара:

$$I_J = \frac{a}{a + b + c}, \quad (9)$$

где  $I_J$  – коэффициент Жаккара;

$a$  – количество общих видов в сравниваемых вариантах (списках), шт.;

$b$  – количество видов, встречающихся только в первом варианте (списке), шт.;

$c$  – количество видов, встречающихся только во втором варианте (списке), шт.

Коэффициент Жаккара может иметь значение от 1 до 100 % (или от 0 до 1). Значения коэффициента Жаккара при разных степенях общности приведены в табл. 18.

Таблица 18

Показатели коэффициентов Жаккара для разных степеней общности

Степень общности	Коэффициент Жаккара
Нет соответствия	Меньше 0,2
Малое соответствие	0,2–0,65
Большое соответствие	0,65
Полное соответствие	1

*Индекс общности Чекановского – Сьеренсена:*

$$I_{ск} = \frac{2a}{(a+b)+(a+c)}, \quad (10)$$

где  $a$  – количество общих видов, присутствующих в обоих растительных сообществах;

$b$  – количество видов, имеющихся только в первом растительном сообществе;

$c$  – количество видов, имеющихся только во втором растительном сообществе.

Чем выше значение коэффициента, тем больше сходство сравниваемых сообществ. При полном флористическом сходстве  $K=100\%$  ( $=1$ ); если сравниваемые флористические списки совершенно различны,  $K=1\%$  ( $=0$ ).

Вычисление коэффициентов сходства Жаккара и Чекановского – Сьеренсена проводится в два этапа. Сначала строятся матрицы общих видов попарно сравниваемых сообществ (табл. 19). Затем вычисляются собственно коэффициенты, значения которых заносятся в аналогичную матрицу и анализируются.

Таблица 19

Матрица видов

Номер описания	Количество видов			
	1	2	3	4
1		5 видов	7 видов	4 вида
2			2 вида	4 вида
3				1 вид
4				

*Индексы отличия* (меры разнообразия), учитывающие отрицательные совпадения, используются реже. Во-первых, для их оценки требуется полное выявление флористического состава, во-вторых, значение этих коэффициентов сильно зависит от видов, отсутствие которых связано с их редкостью, может быть результатом неподходящих условий для их существования или вследствие других, например географических, причин. Общим недостатком этих индексов является также учет в основном доминантных по обилию видов. В этом случае при увеличении монодоминантности (снижении видового разнообразия) значения индексов будут повышаться. Другими словами, с помощью индексов разнообразия оценивается однородность сообщества. Одним из них является *индекс Симпсона*.

*Коэффициент Симпсона* сводится к вычислению степени включения (мер включения) сравниваемых флористических списков друг в друга (Simpson, 1960, 1964):

$$I_{szs} = \frac{C}{N_1 + N_2}, \quad (\text{при } N_1 \geq N_2) \quad (11)$$

где  $C$  – число общих видов в двух описаниях;  
 $N_1$  и  $N_2$  – число видов в первом и во втором описаниях.  
 Вычисление мер включения проводится по схеме:

$$Z_{1-2} = \frac{C}{N_1}, \quad (12)$$

$$Z_{2-1} = \frac{C}{N_2}, \quad (13)$$

где  $C$  – общие виды в двух сравниваемых списках;  
 $N_1$  – число видов в первом списке;  
 $N_2$  – число видов во втором списке.

Если  $Z_{1-2} = 50 \%$ , а  $Z_{2-1} = 60 \%$ , считается, что первое описание включено во второе на  $60 \%$ , а второе включено в первое на  $50 \%$ , или второй флористический список содержит больше специфических видов, чем первый. Вычисленные меры включения сводятся в матрицу (рис. 5), которая путем формализации преобразуется в 0,1-матрицу (рис. 6) таким образом, что если  $Z$  равно или больше произвольно выбранного порогового значения, то в матрице проставляется 1, а если меньше порогового значения, в матрице ставится 0 или клеточка остается пустой. На основе 0,1-матрицы строятся орграфы (графическая интерпретация мер включения) (Андреев, 1980).

Ряд D	Ряд C					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	•	48	58	48	39	52
R2	38	•	59	28	28	59
R3	43	55	•	74	26	55
R4	27	20	38	•	49	47
R5	34	31	31	77	•	57
R6	35	51	51	58	44	•

Рис. 5. Матрица мер включения для рядов деградации сосняка кустарникового (*Rosa spinosissima* L.) (ряд C) и сосняка разнотравного с *Cotoneaster melanocarpa* Lodd. (ряд D)

Ряд D	Ряд C					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	•					
R2		•				
R3			•	1		
R4				•		
R5				1	•	
R6						•

А

Ряд D	Ряд C					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	•		1			1
R2		•	1			1
R3		1	•	1		1
R4				•		
R5			1		•	1
R6		1	1	1		•

Б

Рис. 6. 0,1-матрицы мер включения при пороговых значениях  $\Delta = 70$  и  $\Delta = 50$  для рядов деградации сосняка кустарникового (*Rosa spinosissima* L.) (ряд C) и сосняка разнотравного с *Cotoneaster melanocarpa* Lodd. (ряд D)

Для примера рассмотрим применение мер включения для сравнения флористических списков сообществ, образующих ряды антропогенной деградации сосняков Центрального Казахстана (Зотеева, 1989). Сравняются ряды деградации сосняка кустарникового (*Rosa spinosissima* L.) (ряд С) и сосняка разнотравного с *Cotoneaster melanocarpa* Lodd. (ряд D). Матрица (см. рис. 5) показывает количество общих видов в сообществах, образующих деградационный ряд, сравниваемых попарно.  $R_1, R_2, R_3$  и т.д. – сообщества, оставляющие ряды деградации. На рис. 6 представлены 0,1-матрицы мер включения при разных пороговых значениях для этих сообществ. Рис. 7 показывает орграф отношений включения для рядов деградации С и D, где  $Q_1, Q_2, Q_3$  и т.д. – сообщества, соответствующие стадиям деградации в разных рядах.

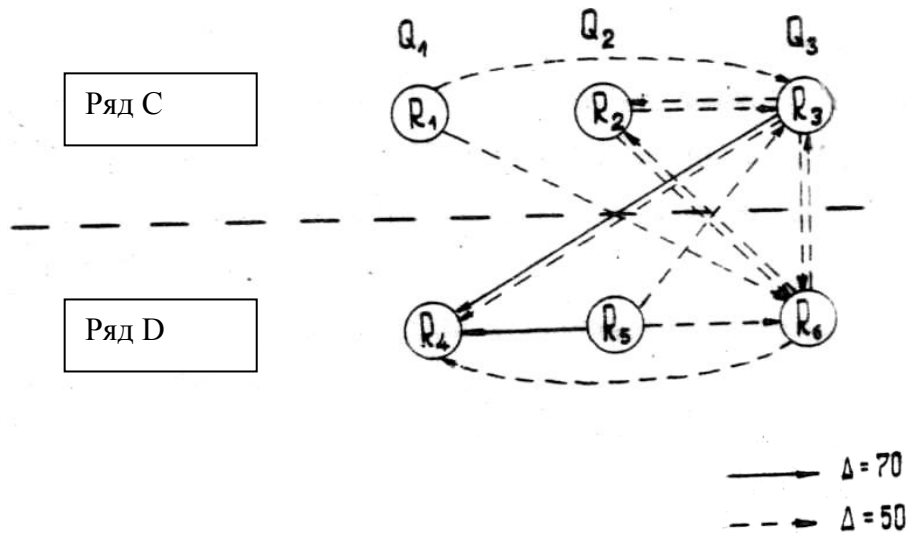


Рис. 7. Орграф отношений включения для рядов деградации сосняка кустарникового (*Rosa spinosissima* L.) (ряд С) и сосняка разнотравного с *Cotoneaster melanocarpa* Lodd. (ряд D) при разных пороговых значениях

При  $\Delta = 70$  мы получаем несвязный орграф, свидетельствующий о существенной разнице в видовом составе как между исходными сообществами сосняка кустарникового (*Rosa spinosissima* L.) и сосняка разнотравного с *Cotoneaster melanocarpa* Lodd., так и в рядах их деградации, что означает наличие коренных смен сообществ.

При  $\Delta = 50$  выявляется обилие связей, возникающих между вершинами орграфа, начиная со второй стадии ( $Q_2$ ). Максимальное количество стрелок входит в вершины  $R_3$  и  $R_6$ , следовательно, можно говорить о сходстве сукцессионных изменений в двух сравниваемых рядах, о сходстве видовых списков на последних стадиях деградации, которые представлены сообществами кустарниковой степи,

и об унификации флористического состава сообществ в ходе их антропогенной деградации.

Применение коэффициентов разнообразия в экологических и фитоценологических исследованиях позволяет решать много конкретных проблем, связанных с вопросами охраны природы и мониторинга растительности. При этом для вычисления коэффициентов разнообразия используются показатели видового богатства, обилия, проективного покрытия видов, фитомасса растений. Фактически применение коэффициентов разнообразия подтверждает или отрицает справедливость для конкретных условий двух основных положений: первое – богатые видами сообщества устойчивее бедных и второе – уровень загрязнения связан со снижением разнообразия и изменением характера видовых обилий (Лебедева и др., 2004). При этом частные случаи использования коэффициентов могут быть очень разными.

## 5.2. Коэффициенты корреляции

*Коэффициенты связи* оценивают зависимости между видами, показывая наличие связей, обуславливающих их совместное произрастание или отталкивание (наличие одних видов сопряжено с отсутствием других). Один из них – *коэффициент ранговой корреляции Спирмена*. Коэффициент Спирмена используется для предварительной ориентации в материале и при использовании шкал (например, шкалы обилия Друде) для оценки признаков видов (Миркин, Розенберг, 1978). С помощью этого коэффициента измеряется сила корреляционной связи между двумя качественными признаками. Если возрастающему значению одного признака соответствуют возрастающие значения другого, то между ними существует положительная связь. Коэффициент Спирмена принимает значения от  $-1$  до  $+1$ .

Вычисление рангового коэффициента корреляции проводится в несколько этапов.

**1-й этап.** На основе описаний формируется таблица «вид/балл» (табл. 20).

Таблица 20

Таблица «вид/балл»

Номер вида	Номер описания					
	1	2	3	4	5	$N_i$
1	sol	Sp	sp	Сop <sub>1</sub>	Сop <sub>3</sub>	...
2	sp	Sol	sol	sp	Сop <sub>2</sub>	...
3	sol	Sp	sp	sp	sp	...
$M_i$	...	...	...	...	...	...



**2-й этап.** Составляется ряд качественных признаков от минимума к максимуму. Например, при использовании шкалы Друде балловые оценки обилия видов переводятся в ранги.

Балл	sol	sp	cop <sub>x</sub>	cop <sub>2</sub>	cop <sub>3</sub>	soc
Ранг	1	2	3	4	5	6

**3-й этап.** Таблицу «вид/балл» переводят в таблицу «вид/ранг» (табл. 21).

Таблица 21

Таблица «вид/ранг»

Номер вида	Номер описания					
	1	2	3	4	5	N <sub>i</sub>
1	1	2	2	3	5	...
2	2	2	2	2	4	...
3	2	2	2	2	2	...
M <sub>i</sub>	...	...	...	...	...	...

**4-й этап.** Подсчитывают ранговый коэффициент Спирмена по формуле

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (14)$$

где  $d$  – попарные разности рангов,  
 $n$  – количество пар вариантов.

Граничные значения оценки показателя корреляции рангов приводятся в специальных таблицах (Приложение 2) (Лакин, 1973). При  $n > 10$  значимость коэффициента корреляции рангов можно оценить с помощью  $t$ -критерия Стьюдента:

$$t = p \sqrt{\frac{n-2}{1-p^2}}. \quad (15)$$

### 5.3. Коэффициенты сопряженности

Сопряженностью в геоботанике называют наличие связи между видами, которая устанавливается по их присутствию – отсутствию (по альтернативным признакам), в основном отражая экологическое сходство видов. Поскольку сопряженность измеряют с помощью

различных коэффициентов связи, коэффициенты сопряженности представляют собой частные случаи коэффициентов корреляции.

Вычисление коэффициентов сопряженности проводится на основе четырехпольной корреляционной решетки (табл. 22). Значения a, b, c и d соответствуют приведенным в таблице. При этом N должно быть более 50, а значения a, b, c, d – не менее 5.

Таблица 22

Четырехпольная корреляционная решетка

Вид 2	Вид 1		
		+	–
+	a	b	a + b
–	c	d	c + d
$\Sigma$	a + b	b + d	N = a + b + c + d

Для построения четырехпольной корреляционной решетки используют сводную таблицу описаний пробных площадей. Вычисление коэффициентов сопряженности проводится поэтапно:

1) из общего списка видов выбрасываются виды, встречающиеся более чем в 80 % случаев (высококонстантные), и очень редкие виды, встречающиеся в 10 % случаев и менее. Первые являются общими почти для всех сообществ, характеризую всю совокупность фитоценозов, вторые могут оказаться в сообществах случайно. Таким образом, дальнейшему анализу подвергаются виды с частотой встречаемости 20 – 80 %;

2) для оставшихся видов рассчитывают показатели критерия  $\chi^2$ , оценивая наличие сопряженности:

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 N}{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)} \cdot \quad (16)$$

Достоверность связи оценивается по таблицам критических значений критерия Стьюдента  $\chi^2$  при  $\nu - N - 1$  (Приложение 3). Нулевая гипотеза отвергается, если  $\chi^2 > \chi^2_{st}$ ;

3) определяется сила связи пар видов, для которых выявлено наличие сопряженности, и определяется наиболее подходящий для данной выборки коэффициент сопряженности.

Наиболее часто используются коэффициент сопряженности Пирсона, коэффициент межвидовой сопряженности Коула и трансформированный коэффициент Дайса.

Коэффициент Пирсона рассчитывается по следующей формуле (Василевич, 1969):

$$r = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}} = \frac{ad - be}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}. \quad (17)$$

Значимость  $r$  проверяют с помощью  $t$ -критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу отвергают, если  $t > t_{gt}$  при  $\nu = N - 2$ .

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (18)$$

Значение коэффициента Пирсона зависит от встречаемости видов. Только при одинаковой встречаемости видов, т.е. при  $(a+b) = (a+c)$ ,  $r = \pm 1$ . Это ведет к занижению показателя связи между сходными по экологии, но существенно различающимися по встречаемости видами (Миркин, Розенберг, 1978).

Коэффициент межвидовой сопряженности Коула рассчитывается:

– при положительной сопряженности ( $ad > bc$ ) по формуле

$$K = \frac{ad - bc}{(a+b)(b+d)}; \quad (19)$$

– при отрицательной сопряженности ( $ad \leq bc$ ) по формулам

при  $a > d$  
$$K = \frac{ab - bc}{(a+b)(a+c)}, \quad (20)$$

при  $a < d$  
$$K = \frac{ad - be}{(d+b)(c+d)}. \quad (21)$$

Значения коэффициента Коула определяются равновесием произведений однонаправленно действующих параметров. Произведение  $ad$  увеличивает сопряженность, в то время как  $bc$  уменьшает. Чем больше модуль разности произведений  $|ad - bc|$ , тем больше модуль коэффициента. Коэффициент равен 0 при  $ad = bc$ , меньше 0 при  $ad < bc$  и больше 0 при  $ad > bc$ . Коэффициент Коула равен +1

при  $bc = 0$ , т. е. когда хотя бы один из этих параметров равен 0; коэффициент Коула равен  $-1$  при  $ad = 0$ , т. е. когда оба или любой из них равен 0 (табл. 23).

Таблица 23

Формулы расчета коэффициента Коула

Сопряженности	$b < c$ (первый вид наименее обилён)	$c < b$ (второй вид наименее обилён)	Упрощенная общая формула
1. $ad > bc$	$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(b + d)}$	$C = \frac{ad - bc}{(a + c)(c + d)}$	$C = \frac{ad - bc}{(a + \min[b, c])(d + \min[b, c])}$
2. $ad < bc$	$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)}$	$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)}$	$C = \frac{ad - bc}{(b + \min[a, d])(c + \min[a, d])}$
2.1. $a \leq d$	$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)}$	$C = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)}$	
2.2. $a > d$	$C = \frac{ad - bc}{(b + d)(c + d)}$	$C = \frac{ad - bc}{(b + d)(c + d)}$	
3. $ad = bc$	$C = 0$	$C = 0$	$C = 0$

Коэффициент рекомендуется использовать при изучении мозаичности сообществ и при изучении экологической ассоциированности (экологической связи видов) в выборке ограниченного диапазона условий среды. К недостаткам коэффициента Коула относится его способность давать высокие положительные значения связи даже при небольшом числе совместных видов (клетка  $a$  в четырехпольной табл. 22). Этого недостатка лишен *трансформированный коэффициент Дайса (ТКД)* (Миркин, 1972):

$$TKD = \frac{a - b}{a + b} \quad \text{для } b < c, \quad (22)$$

$$TKD = \frac{a - c}{a + c} \quad \text{для } b \geq c. \quad (23)$$

$$\text{Для первой формулы: } \chi^2 = \frac{(a - b)^2}{a + b} \quad m_{TKD} = \frac{2\sqrt{a^3 + b^3}}{(a + b)^2}, \quad (24)$$

$$\text{для второй формулы: } \chi^2 = \frac{(a - c)^2}{a + c} \quad m_{TKD} = \frac{2\sqrt{a^3 + c^3}}{(a + c)^2}. \quad (25)$$

Отрицательная максимальная сопряженность по ТКД достигается, когда ни на одной из площадок оба вида не присутствуют вместе. А положительная максимальная сопряженность по ТКД возникает, когда вид с наименьшей встречаемостью произрастает всегда только совместно с другим видом. По ТКД виды сопряжены положительно (тяготеют к совместному произрастанию), если вид с наименьшей встречаемостью, т.е. менее обильный, встречается чаще вместе с другим видом, чем без него. Отрицательная сопряженность (избегание) достигается, когда наименее обильный вид встречается на площадках чаще один, чем вместе с другим видом. Отсутствие же сопряженности между видами предполагается, когда вид с наименьшей встречаемостью произрастает совместно со вторым видом так же часто, как и без него.

Оптимальные условия применения ТКД – репрезентативные выборки широкого эколого-ценотического диапазона, полностью охватывающие условия распространения классифицируемых совокупностей (Уланова, 1995).

Среди других коэффициентов корреляции и сопряженности можно указать *коэффициент ассоциации Юла* (используется для сравнения признаков одного объекта), *коэффициент взаимной сопряженности Чупрова*, *индекс сопряженности Галанина* и др. (Василевич, 1969; Миркин, Розенберг, 1978, 1983).

Все индексы делят на:

1) центрированные (значения которых изменяются от  $-1$  через  $0$  до  $+1$ ) и нецентрированные (границы возможных значений отличаются от  $-1$  и  $+1$ );

2) симметричные, которые принимают одинаковые значения независимо от того, сравнивается вид А с видом В или вид В с видом А, и несимметричные, когда значения индексов при сравнении вида А с видом В отличаются при сравнении вида В с видом А.

Индексы межвидовой сопряженности делятся на индексы перекрывания и собственно коэффициенты межвидовой сопряженности (табл. 24). Индексы перекрывания исключают случаи совместного отсутствия двух видов в сравниваемых сообществах (списках). Это позволяет сравнивать выборки широкого эколого-ценотического диапазона (Миркин, Розенберг, 1978).

Таблица 24

Классификация индексов межвидовой зависимости,  
используемых в биологической литературе  
(Миркин, Розенберг, 1978)

Показатель		Центрированные		Нецентрированные	
		Индексы перекрывания	Коэффициенты межвидовой сопряженности	Индексы перекрывания	Коэффициенты межвидовой сопряженности
Индексы сопряженности	симметричные	–	<i>Михаэля, Пирсона*, Юла</i>	<i>Иверсена, Брея</i>	<i>Маргальефа, Гордона, Сокэла – Мичинера, Галанина</i>
	несимметричные	<i>ТКД *</i>	<i>Коула*, Хюлберта*, Форбеса</i>	<i>Хакера – Дайса</i>	–
Коэффициенты корреляции и расстояния	симметричные	<i>Линейной корреляции*, Ранговой корреляции, Спирмена*, Частной корреляции*, Множественной корреляции*</i>		<i>Взаимной сопряженности Пирсона, Чупрова, Элленберга, Эстамбука, Мориситы, Уиттекера – Фейбекса, Ферона, Евклидово расстояние</i>	
	несимметричные	–		<i>Корреляционное отношение*, Частное корреляционное отношение*, Множественное корреляционное отношение*</i>	

\* – Индексы с определяемой достоверностью показателя.

#### 5.4. Зависимость значений коэффициентов корреляции и сопряженности от размера учетной площадки

Информация, которую мы получаем на основании данных по сопряженности, используя площади лишь одного размера, оказывается весьма неполной и трудной для интерпретации. Целесообразно провести наблюдения, используя пробные площади нескольких различных размеров. Величина и знак коэффициента корреляции или коэффициента сопряженности зависят от размера площадок (Грейг-Смит, 1967). По характеру изменения коэффициента сопряженности

можно судить о причинах, вызывающих сопряженность (по Улановой, 1995):

1) если размеры площадки примерно равны размерам особей видов, отрицательная сопряженность будет означать лишь то, что две особи не могут занимать одно и то же место. С увеличением размеров площадки эта связь исчезает;

2) положительная сопряженность может быть у видов с мелкими особями, так как они будут встречаться на площадках, где отсутствует более крупный вид. Когда размеры площадки увеличиваются настолько, что превосходят размер особей более крупного вида, указание на связь исчезает;

3) если сопряженности между видами вызваны их сходным или различным отношением к факторам среды, то с увеличением размера площадок они будут включать все большее разнообразие условий среды и отрицательные сопряженности будут уменьшаться. Положительные сопряженности также будут снижаться с увеличением размера площадок, так как увеличивается экологическая гетерогенность площадок;

4) при прямых взаимодействиях между видами положительная сопряженность сохраняется при любых размерах площадок, достаточно больших, чтобы туда попали вместе особи обоих видов. Отрицательная же сопряженность исчезает, когда размеры площадки превысят среднюю площадь, на которой прослеживается угнетающее воздействие особи.

При анализе количественных данных с помощью коэффициента корреляции картина становится более сложной. Если исследуются показатели, имеющие верхний фиксированный предел (покрытие, встречаемость – предел 100 %), то при увеличении размера площадок дисперсия этих показателей будет уменьшаться, что при прочих равных условиях приводит к увеличению значения коэффициента корреляции (рис. 8).

Если же рассмотреть показатели, не имеющие верхних границ (численность, фитомасса), то наблюдается противоположная закономерность. С увеличением размера площадок дисперсия этих показателей будет увеличиваться, а значение коэффициента корреляции (при прочих равных условиях) будет уменьшаться. Любые отклонения от этих закономерностей требуют биологических объяснений.

Так, анализ изменения коэффициента корреляции при изучении встречаемости видов на площадках разного размера показал, что в ельнике с осинкой неморально-кисличного типа леса отношения бора

развесистого (*Milium effusum*. L.) и вейника лесного тростниковидного (*Calamagrostis arundinacea* L.) Roth) изменяются при увеличении линейного размера площадок вдоль трансекты (Маслов, 1990). При размере в 1 м отрицательная связь трактуется как пространственное угнетение бора вейником. Пик положительной связи при размере в 4 м связан с общей положительной реакцией на увеличение освещенности в небольших окнах, межкрупных пространствах, и второй положительный пик корреляции при размере в 8 м соответствует размерам окон (рис. 9).

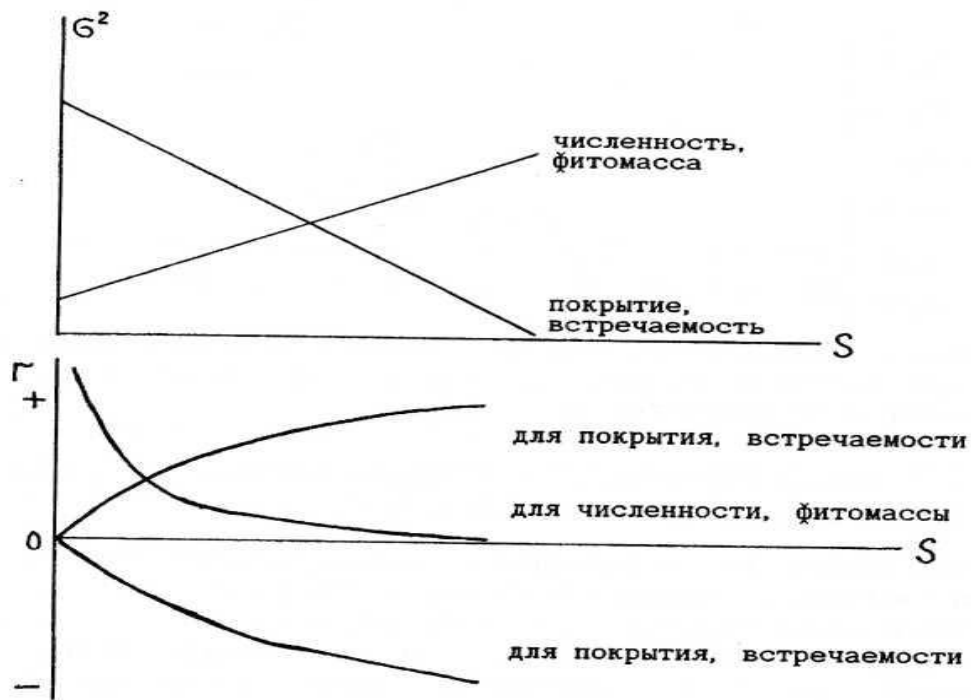


Рис. 8. Изменение дисперсии ( $\sigma^2$ ) и коэффициента корреляции ( $r$ ) при увеличении размера площадок (S)

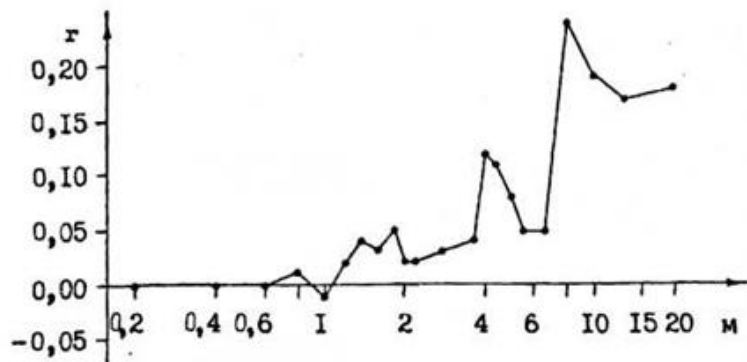


Рис. 9. Изменение значений коэффициентов корреляции между видами при изменении линейного размера площадок в ельнике с осинкой неморально-кисличного типа леса (Маслов, 1990)



Широкое распространение сегодня получили *методы ординации*. Под ординацией понимают совокупность многомерных методов обработки данных о связи растительности и условий среды. Ординация позволяет расположить описания растительности вдоль некоторых осей, определяющих варьирование растительности. При этом опираются на данные видового состава, что дает возможность проследить существующие взаимосвязи между экологическими факторами и составом растительности.

Один из наиболее часто используемых методов ординации – прямой градиентный однофакторный анализ. Метод основан на существующей связи экологических особенностей видов с условиями среды. Значения изучаемого фактора откладываются по оси ординат (изменения значения фактора). По этому фактору ранжируются сделанные описания. Далее все описания (объем выборки должен быть достаточно большим, 100–300 описаний) группируются по классам выбранного градиента (обычно достаточно 5–7 групп). После группировки по классам и вычисления среднего обилия чертится график, на одной оси которого расположен измеренный фактор среды, по другой обилие вида (рис. 10).

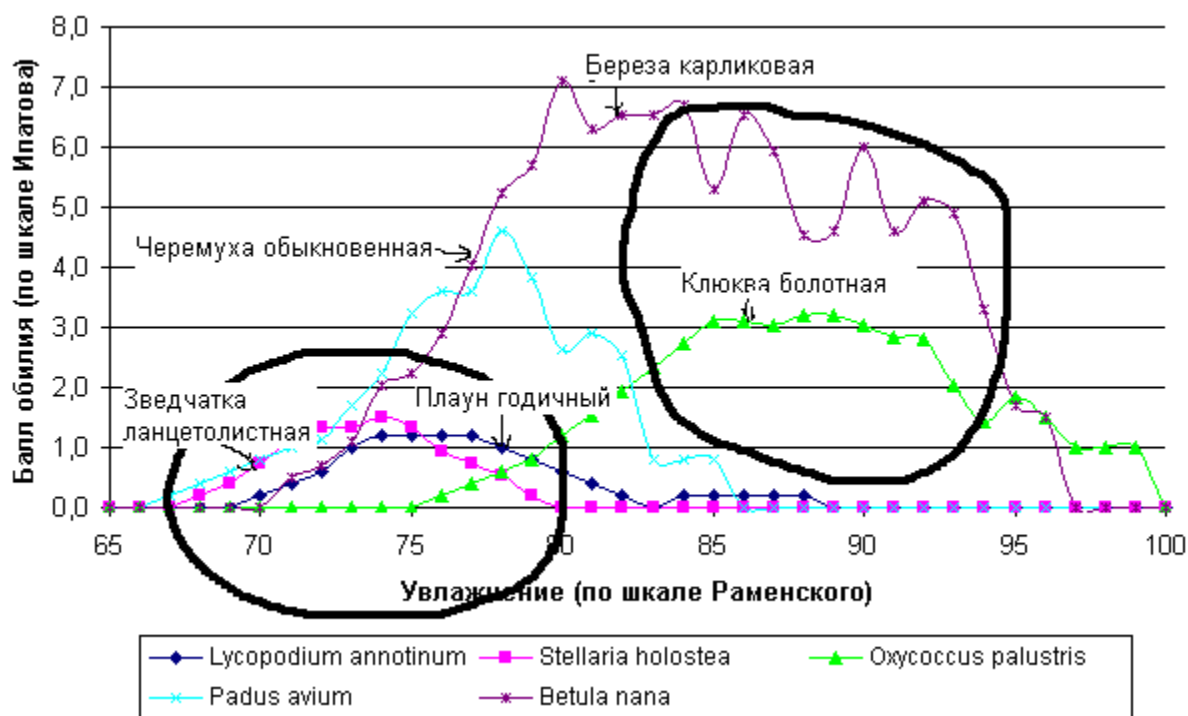


Рис. 10. Прямой однофакторный градиентный анализ. Изменение обилия растений в связи с изменением фактора увлажнения

Необходимым условием является схожесть описаний по всем другим характеристикам, например по расположению на склоне и экспозиции. Анализ графика позволяет определить, как выбранный

фактор влияет на видовой состав растительности для рассматриваемой территории.

На практике часто возникает необходимость рассматривать одновременно несколько экологических факторов. Например, в горах сообщества резко изменяются в зависимости от градиентов как высоты над уровнем моря, так и топографического увлажнения, поэтому должны быть исследованы оба градиента. Для изучения подобных сообществ, определяемых более чем одним фактором, применяют многофакторный градиентный анализ (обычно двухфакторный). В этом случае отображать полную информацию об изменении вида по факторам, как это делалось в однофакторном анализе, гораздо сложнее, поэтому проводится редукция данных. С этой целью на *графике выделяют только оптимумы обилия*, т.е. такие параметры экологического фактора, при которых вид развивается максимально продуктивно, и в дальнейшем сравнивают только эти числа (рис. 11).

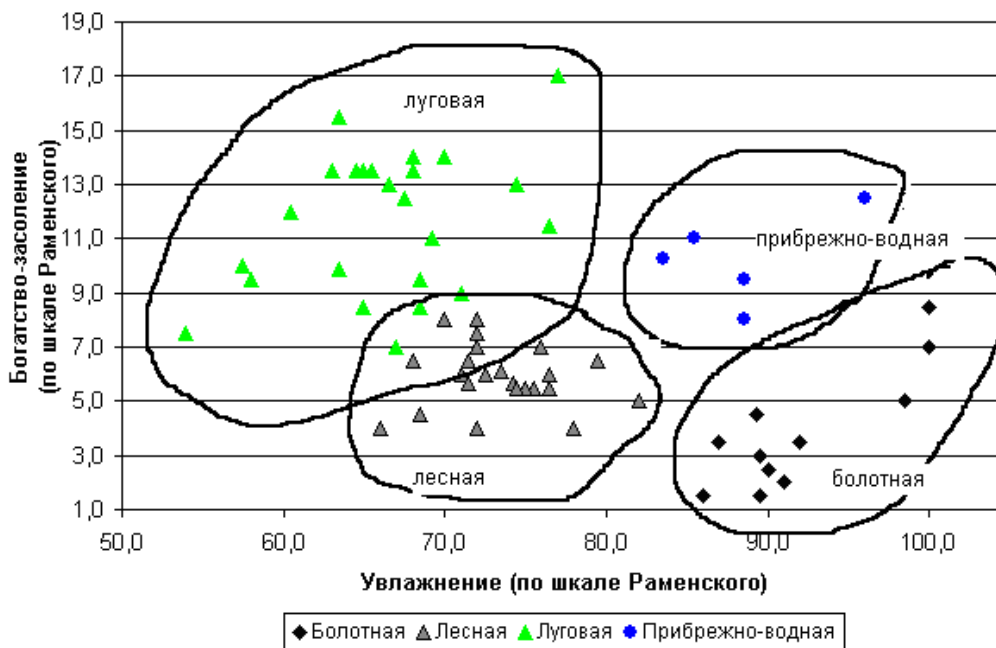


Рис. 11. Прямой многофакторный градиентный анализ. Распределение видов разных эколого-ценотических групп по осям увлажнения и богатства-засоления (это градиент богатства почвы)

Таким образом, методы ординации позволяют проследить влияние экологических факторов на состав растительности, проверить построенные классификации и выявить внутреннюю структуру данных.

Описание большого количества методов ординации можно найти в Интернете на сайте Oklahoma State University. URL: <http://ordination.okstate.edu/>.

## Глава 6

### ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ ВИДОВ

Роль различных видов в жизни фитоценозов неодинакова. Виды обладают не только разными численностью, биомассой, обилием, но и принадлежностью к разным жизненным формам с разными эколого-морфологическими особенностями, сроками прохождения фаз онтогенеза и т.д. Сходные по набору характеристик группы видов играют сходную роль в жизни фитоценозов и называются фитоцено типами, или фитоцено тическими группами видов. К выделению фитоцено тических групп имеются разные подходы.

*По влиянию на среду внутри сообщества* важнейшими фитоцено типами являются *эдификаторы* и *ассектаторы*. Эдификаторы – строители сообщества, создающие и регулирующие режим отношений между видами в сообществе (Миркин, Розенберг, 1983). Ассектаторы – постоянно присутствующие, но не доминирующие в сообществе виды. Иногда выделяются *субэдификаторы* – виды, господствующие не в главном, а во второстепенных ярусах (например, брусника в живом напочвенном покрове ельника-брусничника). Любой эдификатор обязательно является доминантом сообщества, определяющим внутреннюю среду фитоценоза (сосна в сосняках, ель в ельниках), но не каждый доминант является эдификатором. Если доминирующий вид обладает сильным средообразующим влиянием в фитоценозе, он выступает эдификатором данного сообщества. Так, в лесных сообществах эдификатором выступает только доминант первого яруса древостоя, преобладающие виды подпологовых ярусов являются только доминантами подлеска, травяно-кустарничкового или мохово-лишайникового ярусов.

*По типу поведения в сукцессионном развитии фитоценоза* выделяются группы *автохтонных*, *адвентивных* и *антропогенных* видов (Миркин, Розенберг, 1983). К автохтонным относятся виды, присутствующие в фитоценозах, не подверженных антропогенному воздействию, характерные для самобытных сообществ. Адвентивные виды занесены в сообщество из других ассоциаций, способ занесения может быть разным. Антропогенными называются виды, свойственные антропогенно измененным фитоценозам.

*По принадлежности к разным типам растительности* принято выделять лесные, луговые, степные, болотные растения, а также

переходные группы: лесолуговые и лугово-лесные, лесостепные, лугово-степные, лугово-болотные и др.

К *лесным* относятся виды, произрастающие в различных лесных сообществах. Среди группы лесных можно выделить группы видов хвойных (бореальные виды) и лиственных лесов, темнохвойных и светлолиственных и др.

К *луговым* относятся виды, произрастающие в луговых сообществах. Принадлежность вида к той или иной группе определяется по определителям растений, биологическим характеристикам видов, специальным руководствам.

Еще одним способом выделения групп является их приуроченность к местообитаниям с определенным набором экологических характеристик. Речь идет о выделении *экологических групп* видов. Вода в жизни растений выступает важнейшим экологическим фактором, по отношению к которому у растений вырабатываются ярко выраженные черты приспособления в условиях достаточного или дефицитного водообеспечения. Поэтому при исследовании живого напочвенного покрова чаще всего принято выделять экологические группы видов *по отношению к фактору влажности: гигрофиты* – растения, обитающие во влажных местах, не переносящие дефицита влаги; *мезофиты* – растения средних условий увлажнения; *ксерофиты* – растения сухих и засушливых местообитаний, способные переносить почвенную и атмосферную засуху.

При необходимости в зависимости от целей исследования выделяют экологические группы видов по отношению к другим факторам (свету, температуре, характеристикам почвы), пользуясь руководствами и учебниками по экологии (Шенников, 1950; Культиасов, 1982; Горышина, 1983; Степановских, 2001; Шилов, 2001 и др.).

Фитоценотические и экологические группы видов непосредственно связаны с размещением видов в сообществе и отражают комплексность и мозаичность распределения растительности. Соотношение групп между собой внутри и между фитоценозами отражает различия в фитосреде сообществ, так как в меняющихся сообществах меняется их внутренняя среда, обуславливая изменения в соотношении фитоценотических и экологических групп. Поэтому выяснение преобладания какой-либо группы или групп над другими может дать характеристику фитосреды биоценоза и тем самым служить показателем его динамических изменений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиливающееся антропогенное воздействие на природную среду вызывает необходимость постоянного слежения за природными экосистемами в целях оперативного принятия мер по недопущению снижения их биоразнообразия, продуктивности и устойчивости. Данная задача может быть решена с помощью экологического мониторинга – системы наблюдений, оценки и прогнозирования состояния природной среды на основе инструментальных и иных измерений показателей экологической обстановки на выделенных для этой цели объектах.

Первоочередной задачей экологического мониторинга является накопление информации, позволяющей не только диагностировать изменения в экосистемах, но и своевременно определять приближение критических уровней в их состоянии. Правильный подбор показателей и точное определение их критических значений в сочетании с оптимальным временным регламентом мониторинга позволяют своевременно выполнять профилактические или защитные мероприятия в тех случаях, когда предполагаемые изменения природных комплексов оцениваются как нежелательные для наблюдаемой и прилегающих к ней территорий (Система..., 2005).

Фитомониторинг является частью экологического мониторинга и представляет собой систему контроля за состоянием и динамикой растительных сообществ. Поскольку растительный покров является не просто элементом ландшафтов, но и компонентом большинства наземных экосистем и имеет огромное значение для их формирования и динамики, роль фитомониторинга в общей системе экологического мониторинга трудно переоценить.

С помощью фитомониторинга появляется возможность решать следующие задачи:

1) давать оценку состояния природных и городских ландшафтов, лесопарков, заповедников, парков и делать прогноз их развития под воздействием антропогенных нагрузок;

2) контролировать разработку и реализацию программ существующих производств, а также давать оценку с точки зрения влияния на качество экологических ресурсов;

3) следить за состоянием окружающей среды по физическим и биологическим показателям;

4) регулярно проводить оценку качества окружающей среды с помощью специально выбранных для этой цели живых объектов.

5) оптимизировать практически любые регулируемые параметры выращивания растений.

Фитомониторинг – одна из перспективных технологий в лесном хозяйстве, которая подразумевает непосредственный и непрерывный контроль за процессом роста растений, направленный на усовершенствование управляемых факторов сохранности и жизнедеятельности. Фитомониторинг – это непрерывный контроль за жизнедеятельностью растений с одновременным слежением за изменяющимися лесорастительными условиями. Фитомониторинг направлен на усовершенствование управляемых факторов успешного роста древесных растений, а также дает возможность вовремя принимать верные решения по повышению устойчивости и улучшению санитарного состояния насаждений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Агафонова, Г. В. Дипломное проектирование : учеб. пособие / Г. В. Агафонова, Л. И. Аткина, С. В. Залесов и др. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад., 2001. – 216 с. – ISBN 5-7568-0377-7.

Андреев, В. Л. Классификационные построения в экологии и систематике / В. Л. Андреев. – Москва : Наука, 1980. – 140 с.

Анучин, Н. П. Лесная таксация : учебник для лесотехн. и лесохоз. специальностей вузов / Н. П. Анучин // 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Лесн. пром-сть, 1971. – 512 с.

Аткин, А. С. Способ определения массы годичного опада в сосняках : Пат. № 792260 с приоритетом от 18.06.91 / А. С. Аткин, В. Д. Стаканов, 1991.

Бунькова, Н. П. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках г. Екатеринбурга: монография / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – ISBN 978-5-94-984-585-1.

Бурсова, А. И. Исследование почв в природе : пособие для студентов лесохозяйств. фак. / А. И. Бурсова. – Ленинград : Наука, 1961. – 144 с.

Вакар, Б. А. Определитель растений Урала : справочник / Б. А. Вакар. – Свердловск : Сред.-Урал. кн. изд-во, 1964 // 2-е изд., испр. и доп. – 416 с.

Василевич, В. И. Статистические методы в геоботанике / В. И. Василевич. – Ленинград : Наука, 1969. – 232 с.

Винер, В. П. Влияние травяно-кустарничкового покрова и подстилки на микроклимат и почву Забайкалья / В.П. Винер // Тр. ин-та леса и древесины СО АН СССР. – Новосибирск, 1962. – Т. 54. – С. 30–60.

Воронов, А. Г. Геоботаника : учеб. пособие для биол. и геогр. специальностей ун-тов и пед. ин-тов / А. Г. Воронов. – Москва : Высш. шк., 1973. – 384 с.

Востриков, И. С. Определение биологической активности почв различными методами / И. С. Востриков, А. Н. Петрова // Микробиология, 1961. – Т. XXX. – Вып. 4. С. 165–174.

Временная методика определения рекреационных нагрузок на природные комплексы при организации туризма, экскурсий, массового повседневного отдыха и временные нормы этих нагрузок. – Москва : Гослесхоз СССР, 1987. – 52 с.

Годовалов, Г. А. Недревесная продукция леса : учебник / Г. А. Годовалов, С. В. Залесов, А. С. Коростелев // – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2018. 351 с. – ISBN 978-5-534-07162-7.

Горчаковский, П. Л. Тенденции антропогенных изменений растительного покрова земли / П. Л. Горчаковский // Бот. журнал. – 1979. – Т. 64. – С. 128–139.

Горышина, Т. К. О влиянии вытаптывания при рекреационных нагрузках на внутреннее строение листа и таллома некоторых растений / Т. К. Горышина // Экология, 1983. – № 4. – С. 11–18.

Грей-Смит, П. Количественная экология растений : сб. статей / П. Грей-Смит. – Пер. с англ. – Москва : Мир, 1967. – 359 с.

Данчева, А. В. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника : монография / А. В. Данчева, С. В. Залесов, Б. М. Муқанов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 195 с. – ISBN 978-5-9484-462-5.

Данчева, А. В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения : учеб. пособие / А. В. Данчева, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с. – ISBN 978-5-94984-514-1.

Дылис, Н. В. Основы биогеоценологии : учеб. пособие / Н. В. Дылис. – Москва, 1978. – 152 с.

Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев // Отв. ред. В. Н. Былов. – Москва : Наука, 1984. – 424 с.

Залесов, С. В. Проходные рубки в сосняках Урала : монография / С. В. Залесов, Н. А. Луганский. – Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1989. – 128 с. – ISBN 5-7525-0026-5.

Залесов, С. В. Ценопопуляции лесных и луговых видов растений в антропогенно нарушенных ассоциациях Нижегородского Поволжья и Поветлужья : монография / С. В. Залесов, Е. В. Невидомова, А. М. Невидомов, Н. В. Соболев. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. – 204 с.

Зотеева, Е. А. Антропогенная динамика лесной растительности проектируемого Каркаралинского природного парка : 03.00.05 «Ботаника» : дис. на соискание ... канд. биолог. наук. – Урал. отд-ние Института экологии растений и животных. / Е. А. Зотеева. – Свердловск, 1989. – 276 с.

Иванова, Е. Н. Классификация почв СССР / Е. Н. Иванова. – Москва : Наука, 1976. – 227 с.



Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Утверждена Приказом Рослесхоза от 15 декабря 1994 г. № 265. Согласована с Минприроды России 23 декабря 1994 года. – Москва, 1995. – Ч. 1. – 176 с.

Казанская, Н. С. Динамика травяно-кустарничкового яруса некоторых лесных фитоценозов под влиянием рекреационной деятельности человека / Н. С. Казанская // Количественные методы анализа растительности. – Рига, 1971. – С. 128–138.

Казанская, Н. С. Методика изучения рекреационных нагрузок на древесные насаждения лесопаркового пояса г. Москва в связи с организацией территории массового отдыха и туризма / Н. С. Казанская, В. В. Ланина. – Москва, 1975. – 66 с.

Казанская, Н. С. Рекреационные леса: состояние, охрана, перспективы использования / Н. С. Казанская, В. В. Ланина, Н. Н. Марфенин. – Москва : Лесн. пром-сть, 1977. – 96 с.

Карпачевский, И. О. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах / И. О. Карпачевский, Н. К. Киселева // Лесоведение. – 1968. – № 3. – С. 73–79.

Ковалев, Б. И. Состояние заподсоченных сосновых лесов / Б.И. Ковалев // Лесное хозяйство, 1993. – № 5. – С. 35–38.

Колесников, Б. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области : практич. руководство / Б. П. Колесников, Р. С. Зубарева, Е. П. Смолоногов. – Свердловск : УНЦ АН СССР. 1973. – 177 с.

Куликов, П. В. Определитель сосудистых растений Челябинской области : справочник / П. В. Куликов. – Екатеринбург : УрО РАН, 2010. – 969 с.

Культиасов, И. М. Экология растений : учебник / И. М. Культиасов. – Москва : МГУ, 1982. – 381 с.

Лакин, Г. Ф. Биометрия : учебное пособие / Г. Ф. Лакин. – Москва : Высш. шк., 1973. – 343 с.

Лебедева, Н. В. Биологическое разнообразие : учеб. пособие / Н. В. Лебедева, Н. Н. Дроздов, Д. А. Криволицкий. – Москва : Гуманитарный издательский центр «ВЛАДОС», 2004. – 432 с.

Луганский, Н. А. Влияние рубок ухода в сосновых молодняках на развитие травяно-кустарничкового покрова / Н. А. Луганский, Г. П. Макаренко, Н. В. Пешкова // Леса Урала и хозяйство в них. – Свердловск, 1978. – Вып. 11. – С.111–117.

Любославский, Г. А. К вопросу о влиянии растительного покрова на распределение температур и влажности в нижних слоях

воздуха / Г.А. Любославский // Изв. Императ. лесн. ин-та. – 1916. – Вып. 29. – С. 106–165.

Маслов, А. А. Количественный анализ горизонтальной структуры лесных сообществ : монография / А. А. Маслов. – Москва : Наука, 1990. – 160 с. – ISBN 5-02-004076-2.

Мелехов, И. С. Лесоведение : учебник / И. С. Мелехов. – Москва : Лесн. пром-сть, 1980. – 480 с.

Миркин, Б. М. Количественные методы классификации, ординации и геоботанической индикации / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг // Итоги науки и техники. Ботаника. – Москва : ВИНТИ, 1972. – Т. 1. – С. 7–83.

Миркин, Б. М. Толковый словарь современной фитоценологии : словарь / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – Москва : Наука, 1983. – 134 с.

Миркин, Б. М. Фитоценология. Принципы и методы : монография / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – Москва : Наука, 1978. – 212 с.

Нестеров, В. Г. Общее лесоводство / В. Г. Нестеров. – Москва : Гослесбумиздат, 1954. – 645 с.

Онуфриенко, Н. Е. Динамика напочвенного покрова и подроста в рекреационных лесах Молдавии / Н. Е. Онуфриенко, Е. А. Анিকেев, В. А. Гырла // Лесн. хоз-во. – 1985. – № 7. – 42 с.

Горчаковский, П. Л. Определитель сосудистых растений Среднего Урала / П. Л. Горчаковский, Е. А. Шурова, М. С. Князев и др. – Москва : Наука, 1994. – 525 с. – ISBN 5-02-004167-X.

ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. – Москва, 1983. – 60 с.

Побединский, А. В. Изучение лесовосстановительных процессов : метод. указания / А. В. Побединский. – Москва : Наука, 1966. – 64 с.

Полякова, Г. А. Влияние рекреационных нагрузок на сезонное развитие лесных травянистых растений / Г. А. Полякова // Лесная геоботаника и биология древесных растений. – Брянск, 1979. – С. 86–90.

Понятовская, В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. – Москва; Ленинград : Наука, 1964. – Т. III. – С. 209–290.

Почвоведение : учеб. пособие // Под. ред. И. И. Кауричева. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 719 с.

Правила лесовосстановления. Утв. Приказом Минприроды России от 25.03.2019. – № 188. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (дата обращения 14.04.2020).

Правила санитарной безопасности в лесах. Утв. Постановлением Правительства РФ от 20.05. 2017. – № 607. – URL: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (дата обращения 14.04.2020).

Работнов, Т. А. Фитоценология : учеб. пособие для биол. спец. ун-тов. – Москва : Изд-во МГУ, 1983. – 232 с.

Реймерс, Н. Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы : словарь / Н. Ф. Реймерс, А. В. Яблоков. – Москва : Наука, 1982. – 144 с.

Роде, А. А. Почвоведение : учебник для лесохоз. фак. вузов / А. А. Роде, В. Н. Смирнов. – Москва : Высш. шк., 1972. – 480 с.

Родин, Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Ленинград : Наука, 1968. – 143 с.

Розенберг, Г. С. Модели в фитоценологии : монография / Г. С. Розенберг. – Москва : Наука, 1984. – 256 с.

Рысин, Л. П. Рекреационное лесопользование в СССР : сборник статей / Л. П. Рысин. – Москва, 1983. – С. 5–20.

Система мониторинговых наблюдений за состоянием биоты на территории Свердловской области / Отв. ред. И.А. Кузнецова. – Екатеринбург : Изд-во УрГУ, 2005. – 205 с. – ISBN 5-7525-1335-9.

Степановских, А. С. Общая экология : учебник для вузов / А. С. Степановских. – Москва : ЮНИТИ, 2001. – 510 с. – ISBN 5-238-00284-X.

Сукачев, В. Н. Методические указания к изучению типов леса / В. Н. Сукачев, С. В. Зонн. – Москва : Изд-во АН СССР, 1961. – 104 с.

Сукачев, В. Н. Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии / В. Н. Сукачев // Вопросы ботаники. 1954. – Вып. I. – С. 291–309.

Сукачев, В. Н. Проблемы фитоценологии : избранные труды / В. Н. Сукачев. – Ленинград : Наука, 1975. – Т. 3. – 540 с.

Тарасов, А. Н. Рекреационное лесопользование / А. Н. Тарасов. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 176 с.

Титлянова, А. А. Сукцессии растительности / А. А. Титлянова, Н. П. Миронычева-Токарева // Сукцессии и биологический круговорот. – Новосибирск : Наука, 1993. – С. 14–36.

Уланова, Н. Г. Математические методы в геоботанике : учеб. пособие / Н. Г. Уланова. – Москва : Наука, 1995. – 52 с. – ISBN 978-5-317-05750-3.

Шенников, А. П. Введение в геоботанику : учебник для биол. фак. ун-тов / А. П. Шенников. – Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1984. – 288 с.

Шенников, А. П. Экология растений : учеб. пособие / А. П. Шенников. – Москва : Советская наука, 1950. – 375 с.

Шилов, И. А. Экология : учебник для вузов / И. А. Шилов. – Москва : Высш. шк., 2001. – 512 с.

Шмидт, В. М. Математические методы в ботанике : учеб. пособие / В. М. Шмидт. – Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 288 с.

Holling, C. G. Resilience and stability of ecological systems / Ann. Rev. Ecol. and Sestems. – 1973. – P. 1–23.

Simpson, G. G. Numerical taxonomy and biological classification New York // Science. – 1964. № 144. – P. 712–713.

Simpson, G. G. Quantitaitive zoology, revised ed. New York / G. G. Simpson, A. Roe, R. C. Lewontin // Hacount, Brace de World. – 1960. – 440 p.

Westhoff V. The Braun-Blanquet approach: Classification of plant communities / Westhoff V., Maarel E; Ed. R. H. Wittaker. The Hague. – 1978. – P. 3–13.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1

#### Основные термины и определения

**Богатство видовое** – количество видов ЖНП на ППП, простейший показатель альфа-разнообразия.

**Возобновление леса (как экосистемы)** – многофакторный процесс образования нового поколения леса естественным или искусственным путем; процесс поселения и приспособления к внешним условиям существования подроста под пологом взрослого насаждения, на вырубках или гарях, процесс формирования всех компонентов леса и связей между ними.

**Возобновление леса (как процесс)** – образование нового поколения леса естественным путем любыми лесообразующими породами.

**Восстановление леса** – образование нового поколения леса коренной породой естественным путем в условиях более активной деятельности человека или путем создания лесных культур на площадях, ранее занятых лесом.

**Встречаемость вида** – отношение количества учетных площадок с наличием данного вида к общему количеству заложённых площадок, выраженное в процентах.

**Густота заросли** – количество побегов изучаемого вида на единице площади. Если побеги учесть невозможно, то указывают другую единицу (например, кочка).

**Демутация насаждений** – восстановление лесных насаждений в сторону исходного состояния, когда отрицательное воздействие экологических факторов прекращается.

**Дигрессия насаждений** – изменение состояния насаждений в сторону их разрушения под влиянием постоянно действующих экологических факторов (рекреация, влияние диких и домашних животных, аэропромвыбросы, повреждения насекомыми, длительное подтопление, вторичное засоление и т.п.).

**Живой напочвенный покров (ЖНП)** – совокупность травянистых растений, полукустарничков и кустарничков, мхов и лишайников, произрастающих на покрытых и не покрытых лесной растительностью землях.

**Запас (урожайность, продукция)** – количество фитомассы, приходящейся на единицу площади. Термин *урожайность* можно использовать при определении в качестве сырья плодов, цветков, однолетних побегов. Если же изучается кора или корневища, то термин неточен.

**Кустарнички** – жизненная форма растений, имеющая несколько надземных одревесневших осей; жизненный цикл осей 5–10 лет, а их высота – 5–60 см.

**Лесная подстилка** – напочвенный покров из мертвой органической массы, формируемой за счет лесного опада.

**Лесной опад** – ежегодно отторгаемая насаждением фитомасса (листья, хвоя, ветви, сучья, плоды, семена, кора, надземная часть ЖНП), которая систематически пополняет лесную подстилку.

**Лишайниковый покров** – совокупность лишайников.

**Модельный экземпляр** – экземпляр растения, расположенный в пределах учетной площадки, подвергающийся более детальному исследованию. Подбор модельных экземпляров определяется методикой исследования и может вестись систематическим или случайным порядком.

**Обилие вида** – доленое участие вида в сложении живого напочвенного покрова (аспект вида).

**Подлесок** – кустарники, реже древесные породы, произрастающие под пологом древостоев, на вырубках и гарях, но не способные образовать древостой в конкретных лесорастительных условиях.

**Подрост** – молодое поколение древесных растений под пологом древостоев, на вырубках и гарях, способное сформировать древостой. Высота подроста не более  $\frac{1}{4}$  высоты древостоя.

**Проективное покрытие** – доля поверхности почвы, закрытая надземными органами учитываемого вида. Показатель может определяться в процентах, долях от единицы, баллах. Если видом изучаемая площадь покрыта сплошь, то это 100 %-ное покрытие, что соответствует 1,0, если покрыто 50 % площади, то это составит 0,5. Любой градации покрытия в процентах можно установить баллы. Проективное покрытие зависит от густоты и степени развития каждого экземпляра растения. Этот показатель может рассматриваться как по отношению к отдельным видам, так и к группе их или ко всему ЖНП. Проективное покрытие отражает геометрическую структуру фитоценоза (архитектонику). Возможно определение проективного покрытия глазомерно или с использованием уточняющих геоботанических приборов.

**Строение заросли** – соотношение в заросли количества экземпляров, отличающихся друг от друга по каким-либо признакам – по высоте, возрасту, диаметру и др.

**Травяно-кустарничковый покров** – совокупность травянистых и кустарничковых растений.

**Учетная площадка** – площадка, отграниченная в пределах пробной площади в целях изучения ЖНП, подроста, подлеска и т.п. Учетные площадки могут быть различны по форме и размерам, закладываются в количестве, обеспечивающем заданную точность исследования. На ППП учетные площадки для изучения возобновления и живого напочвенного покрова могут совпадать.

**Ход роста** – характер динамики размерных показателей как у отдельных экземпляров, так и у среднего значения для заросли в целом.

Приложение 2

**Критические значения коэффициента корреляции Спирмена**

n	Уровень значимости $\alpha$		n	Уровень значимости $\alpha$		n	Уровень значимости $\alpha$	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
5	0,94	–	17	0,48	0,62	29	0,37	0,48
6	0,85	–	18	0,47	0,60	30	0,36	0,47
7	0,78	0,94	19	0,46	0,58	31	0,36	0,46
8	0,72	0,88	20	0,45	0,57	32	0,36	0,45
9	0,68	0,83	21	0,44	0,56	33	0,34	0,45
10	0,64	0,79	22	0,43	0,54	34	0,34	0,44
11	0,61	0,76	13	0,42	0,53	35	0,33	0,43
12	0,58	0,73	24	0,41	0,52	36	0,33	0,43
13	0,56	0,70	25	0,40	0,51	37	0,33	0,42
14	0,54	0,68	26	0,39	0,50	38	0,32	0,41
15	0,52	0,66	27	0,38	0,49	39	0,32	0,41
16	0,50	0,64	28	0,38	0,48	40	0,31	0,40



Приложение 3

Критические значения распределения  $\chi^2$

Число степеней свободы	Уровни значимости				Число степеней свободы	Уровни значимости			
	0,3	0,1	0,05	0,025		0,3	0,1	0,05	0,025
1	1,07	2,71	3,84	5,02	51	55,8	64,3	68,7	72,6
2	2,41	4,61	5,99	7,38	52	56,8	65,4	69,8	73,8
3	3,67	6,25	7,81	9,35	53	57,9	66,5	71,0	75,0
4	4,88	7,78	9,49	11,1	54	58,9	67,7	72,2	76,1
5	6,06	9,24	11,1	12,8	55	60,0	68,8	73,3	77,4
6	7,23	10,6	13,3	14,1	56	61,0	69,9	74,5	78,6
7	8,38	12,0	14,1	16,0	57	62,1	71,0	75,6	79,7
8	9,52	13,4	15,5	17,5	58	63,1	72,2	76,8	80,9
9	10,7	14,7	16,9	19,0	59	64,2	73,3	77,9	82,1
10	11,8	16,0	18,3	20,5	60	65,2	74,4	79,1	83,3
11	12,9	17,3	19,7	21,9	61	66,3	75,5	80,2	84,5
12	14,0	18,5	21,0	23,3	62	67,3	76,6	81,4	85,6
13	15,1	19,8	22,4	24,7	63	68,4	77,7	82,5	86,8
14	16,2	21,1	23,7	26,1	64	69,4	78,9	83,7	88,0
15	17,3	22,3	25,0	27,5	65	70,5	80,0	84,8	89,3
16	18,4	23,5	26,3	28,8	66	71,5	81,1	86,0	90,3
17	19,5	24,8	27,6	30,2	67	72,6	82,2	87,1	91,5
18	20,6	26,0	28,9	31,5	68	73,6	83,3	88,3	92,7
19	21,7	27,2	30,1	32,8	69	74,6	84,4	89,4	93,9
20	22,8	28,4	31,4	34,2	70	75,7	85,5	90,5	95,0
21	23,9	29,6	32,7	35,5	71	76,7	86,6	91,7	96,2
22	24,9	30,8	33,9	36,8	72	77,8	87,7	92,8	97,3
23	26,0	32,0	35,2	38,1	73	78,8	88,8	93,9	98,5
24	27,1	33,2	36,4	39,4	74	79,9	90,0	95,1	99,7
25	28,2	34,4	37,7	40,6	75	80,9	91,1	96,2	100,8
26	29,2	35,6	38,9	41,9	76	82,0	92,2	97,4	102,0
27	30,3	36,7	40,1	43,2	77	83,0	93,3	98,5	103,2
28	31,4	37,9	43,7	44,5	78	84,0	94,4	99,6	104,3
29	32,5	39,1	42,6	45,7	79	85,1	95,5	100,7	105,5
30	33,5	40,3	43,8	46,9	80	86,1	96,6	101,9	106,6
31	34,6	41,4	45,0	48,2	81	87,2	97,7	103,0	107,8
32	35,7	42,6	46,2	49,5	82	88,2	98,8	104,1	108,9
33	36,7	43,7	47,4	50,7	83	89,2	99,9	105,3	110,1
35	38,9	46,1	49,8	53,2	84	90,3	101,0	106,4	111,2
36	39,9	47,8	51,0	54,4	85	91,3	102,1	107,5	112,4
37	41,0	48,4	52,2	55,7	86	92,4	103,2	108,6	113,5
38	42,0	49,5	53,4	56,9	87	93,4	104,3	109,8	114,7
39	43,1	50,7	54,6	58,1	88	94,4	105,4	110,9	115,8
40	44,2	51,8	55,8	59,3	89	95,5	106,5	112,0	117,0
41	45,2	52,9	56,9	60,4	90	96,5	107,6	113,1	118,1
42	46,3	54,1	58,1	61,8	91	97,6	108,7	114,3	119,3
43	47,3	55,2	59,3	62,9	92	98,6	109,8	115,4	120,4
44	48,4	56,4	60,5	64,2	93	99,6	110,9	116,5	121,6
45	49,5	57,5	61,7	65,4	94	100,7	111,9	117,6	122,7
46	50,5	58,6	62,8	66,6	95	101,7	113,0	118,8	123,9
47	51,6	59,8	64,0	67,8	96	102,8	114,1	119,9	125,0
48	52,6	60,9	65,2	69,0	97	103,8	115,2	121,0	126,1
49	53,0	62,0	66,3	70,2	98	104,8	116,3	122,1	127,3
50	54,7	63,2	67,5	71,4	99	105,9	117,4	123,2	128,4
					100	106,9	118,5	124,3	129,6

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Растительная ассоциация.....	4
Глава 2. Мониторинг лесных экосистем.....	6
2.1. Понятие мониторинга. Биоразнообразие .....	6
2.2. Мониторинг древесной растительности .....	7
2.3. Изучение естественного лесовозобновления .....	14
2.4. Описание почв.....	18
2.5. Лесной опад и лесная подстилка .....	28
Глава 3. Синантропизация растительного покрова.....	32
Глава 4. Изучение живого напочвенного покрова.....	39
4.1. Основные положения по изучению живого напочвенного покрова.....	39
4.2. Шкалы проективного покрытия.....	51
4.3. Другие методы оценки живого напочвенного покрова.....	55
Глава 5. Методы статистического анализа данных о составе и структуре живого напочвенного покрова.....	57
5.1. Индексы сходства и различия .....	57
5.2. Коэффициенты корреляции .....	63
5.3. Коэффициенты сопряженности .....	64
5.4. Зависимость значений коэффициентов корреляции и сопряженности от размера учетной площадки .....	69
Глава 6. Фитоценоотические и экологические группы видов .....	74
Заключение.....	76
Библиографический список.....	78
Приложение.....	84

Учебное издание

*Бунькова Наталья Павловна*  
*Залесов Сергей Вениаминович*  
*Залесова Евгения Сергеевна*  
*Магасумова Альфия Гаптрауфовна*  
*Осипенко Регина Александровна*

## **ОСНОВЫ ФИТОМОНИТОРИНГА**

ISBN 978-5-94984-727-5



Редактор А. Л. Ленская  
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Подписано в печать 27.05.2020  
Формат 60x84/16  
Уч.-изд. л. 4,40                      Усл. печ. л. 4,42  
Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)  
Заказ № 6931

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Тел.: 8 (343) 262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»  
620062, РФ, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2  
Тел.: 8 (343) 362-91-16