

УДК 66.074.2/3

Составители: О.И. Белякова, Д.Е. Татаренко

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент *В.В.Протасов*

Структура и видовое разнообразие биоценозов: методические указания к проведению практической работы по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.И. Белякова, Д.Е. Татаренко. Курск, 2019. 15 с: табл. 3. Библиогр.: с. 12.

Излагаются основные теоретические понятия о структуре и развитии природных биоценозов. Приводятся некоторые индексы и математические коэффициенты, используемые для оценки биологического разнообразия экосистем. Также даны примеры методов качественного сравнения биоценозов исходя из количественных данных по отдельным группам фауны и флоры.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 22.02.19. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л.1,0. Уч. изд.л. 1,0. Тираж 30 экз. Заказ 114. Бесплатно.
Курский государственный технический университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель занятия:

Изучить основные типы определения численности видов и обилия биологических групп на основе эколого-флористических и эколого-фаунистических сборов и коллекционных материалов;

Изучить основные типы определения бета-разнообразия таксонов путём использования разных индексов биоценотического обчёта и сравнения видовых списков в экосистемах.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К области **синэкологии** относятся самые различные научные работы, затрагивающие всевозможные аспекты и особенности строения и функционирования целостных экосистем – биоценозов, биогеоценозов или всей биосферы планеты. Это могут быть и наземно-сухопутные, морские, солоноватоводные, пресноводные или почвенные экосистемы. Теоретически сюда относятся и паразитоценозы, а также огромные по площади и очень сложные по своим параметрам пространственно-временного распределения разнообразных групп живых существ (животных, растений-продуцентов, грибов, микроорганизмов и др.), которые обитают на территориях целых континентов, зоогеографических зон (биомов) или биогеографических областей.

Видовой состав живых организмов может быть изучен в границах экосистемы любого ранга. Как правило, самые главные причины, определяющие их биоразнообразие, заключаются в физико-географических особенностях ландшафтов, естественной историей развития геологического рельефа, зависят от мезоклимата и макроклимата. Важное значение может иметь и **естественная сукцессия** (закономерности длительного изменения) растительного покрова и биоценоза в целом. Все организмы, входящие в состав экосистемы, постепенно меняют её физическую и химическую среду. Изменяется общее количество органического вещества. Существуют также сложные взаимосвязи между гетеротрофами и автотрофами внутри биоценоза, создающие направления более или менее динамичного развития. Из-за совместного и комплексного действия биотических и абиотических факторов среды можно различать два основных типа сукцессий, меняющих биоразнообразие экосистемы.

1-й тип – это **конструктивные сукцессии**, когда биомасса организмов постепенно накапливается (заселение местообитания после пожаров, наводнений, рубки лесов, схода снежных лавин и геологических сбросов и проч.). Часто в первое время преимущество имеют представители флоры и фауны с большим биотическим потенциалом к размножению. Биоразнообразие может увеличиваться согласно сложнейшим эколого-биологическим закономерностям и не обязательно эта зависимость будет линейной.

2-й тип – это **деструктивные сукцессии**, когда разрушается накопившаяся ранее биомасса и органический субстрат разлагается почти полностью. Здесь тоже сложным образом меняется число видов и биологических групп. В основном это связано с переработкой подстилки в биоценозе, с отмирающими деревьями и кустарниками, утилизацией донных отложений и т.д.

Климаксное сообщество – это терминальная стадия развития биоценоза (устойчиво и длительно существующая при данных климатических условиях) – обычно очень богато по видовому составу. В некоторых местах планеты есть сообщества, содержащие большое разнообразие реликтов (палеореликты – древние группы живых существ, сохранившиеся на ограниченных территориях или акваториях).

Есть и другие типы и классификации сукцессий, связанные с естественными или антропогенными факторами среды.

Нередко отмечают, что видовое разнообразие флоры и фауны возрастает в широтном направлении в сторону экватора Земли, но и эта закономерность может нарушаться из-за сложности распределения зоогеографических зон и мозаики биогеоценозов на поверхности суши. В широтном направлении также возможны колебания численности видов и смена групп организмов из-за расположения океанов и изменений макроклимата. Ещё более сложные особенности могут наблюдаться в трёхмерном пространстве гидросферы.

Кроме того, в биологии хорошо известен эффект **экотона** – природное явление, связанное с границами биогеоценозов, ландшафтов, крупных природно-территориальных комплексов, зоогеографических зон (биомов) и т.п. Вследствие разнообразия абиотических и биотических факторов на границе биоценозов

условия очень вариабельны, что позволяет сосуществовать огромному количеству таксонов насекомых, растений, пауков, птиц, мелких млекопитающих, растений и т.д.

Важно подчеркнуть, что любое первоначальное эколого-биологическое и биоценотическое изучение экосистемы невозможно без выяснения **максимально вероятного числа компонентов этой системы** – то есть в каждом конкретном исследовании необходимо установить определённый видовой состав обитающих вместе **продуцентов, редуцентов и консументов**. Однако, полученные видовые списки – это только основа для дальнейшего ещё более сложного анализа с точки зрения эколого-фаунистического и эколого-флористического рассмотрения всех живых организмов в данном биоценозе.

Как правило, какие-либо дополнительные биологические и экологические данные по изменениям флоры и фауны (а также по биологии отдельных видов и популяций) также собираются учёными на протяжении разных периодов работы путём наблюдения и описания в естественных природных биогеоценозах. В любом случае это и есть наиболее важные основные, первичные и фундаментальные материалы об экосистеме, а особенности их увеличения, деградации и вымирания могут иметь прикладное биоиндикационное значение.

Нередко достаточно информативный материал получается уже при составлении точного видового состава данной территории (административного региона, конкретной экосистемы, зоогеографической зоны и т.д.). Это связано с тем, что многие биологические особенности и закономерности распределения, например, европейских популяций животных и растений не так уж сильно отличаются друг от друга. Хотя в природе нет совершенно одинаковых популяций или тем более подвидов живых организмов (в основном подразумевается их генетическое или фенотипическое разнообразие).

Часто учёные-профессионалы исследуют экосистемы только для определённых фаунистических или флористических задач. Кроме того, на практике из-за трудностей в коллектировании или идентификации видов научные описания и сравнения специалисты проводят только по нескольким или одному таксону (группе видов).

Отметим, что любая биологическая работа начинается с правильной и корректной идентификации (определения) объекта исследования, что нередко доступно только узким специалистам по той или группе. Точное научное определение бактерий, многих простейших, водорослей, грибов, мелких беспозвоночных животных крайне сложно из-за необходимости анализа мелких и подвижных структур живых организмов. Поэтому собранные флористические и фаунистические коллекции изучают в лабораторных условиях. Для повышения точности определения осуществляются серийные сборы (лучше – на разных стадиях онтогенеза). Это необходимо не только потому, что разные признаки видов подвержены изменчивости, но и для изучения численности живых существ, влияния различных факторов среды на внутривидовое разнообразие морфологических особенностей, для оценки биоразнообразия таксонов и т.д.

И, конечно, у ботаников и зоологов никогда нет гарантий, что выявлен полный список видов рассматриваемой биологической группы. Нередко это связано не только с сезонностью экспедиционной работы, но и из-за спонтанных процессов эмиграции и иммиграции. Иногда полнота выявления видового состава таксона может зависеть от числа проб, применяемых методов сбора (например, когда преобладают личиночные или взрослые стадии), от периодов (сезонов) и способов наблюдения и подсчёта, от их количества и т.д.

Кроме того, на территории трансформированных и сильно изменённых экосистем видовой состав бывает значительно обеднённым по причинам прямых или косвенных негативных антропогенных воздействий, длительности и силе этих процессов и т.д.

Для начального ознакомления с количественными параметрами биоценозов нам в принципе будет достаточно рассмотреть **альфа-и бета-разнообразие** экосистем. Первый термин отражает конкретное видовое богатство – общее число видов в данном сообществе и видовую насыщенность – среднее число видов на единицу площади (или объёма). Кроме того, важно знать и так называемое **бета-разнообразие** – это изменчивость альфа-разнообразия, т.е. индексы сравнения биоразнообразия между «адекватными» биогеоценозами,

коэффициенты сходства и гетерогенности. Все научно-исследовательские сборы и учёты целесообразно проводить в периоды максимальной активности живых существ (время года, погодные условия), для растений – в периоды цветения и плодоношения.

Один из наиболее простых способов, как ориентировочно оценить численность того или иного представителя флоры или фауны – это каким-то способом определить **встречаемость** данного вида организмов. Фактически при изучении биоразнообразия экосистем это может означать процент проб, в котором встречен данный биологический вид. Количество проб из-за особенностей среды обитания животных и растений, из-за методов и техники сбора или по другим причинам может сильно различаться, но в любом случае точность обычно бывает большей при случайном распределении особей, т.е. относительно более равномерном на изучаемой территории. Очевидно, что при агрегированном размещении организмов этот показатель менее точен, особенно при увеличении площади территории (или акватории), когда нахождение или пропуск скоплений живых существ может значительно сказаться на точности оценки встречаемости.

Этот относительно простой способ имеет смысл в тех случаях, сами пробы (например, учётные площадки с заданной площадью) суммарно примерно равны по охватываемой площади экосистемы.

Но на практике чаще всего приходится иметь дело со сборами разных экспедиций разных учёных, в различные годы и неодинаковых по стилю сбора (включая различные стадии развития организмов) по объёму материала (иногда это может быть и полезным для получения максимально информационного описания). И из таких данных тоже можно вывести общее представление о редкости того или иного вида.

Существуют несколько способов определения основных показателей видового биоразнообразия, которое характеризуется одним единственным числом. В зависимости от конкретных условий коллектирования, изучения и сбора для оценки таксономических списков следует использовать тот или иной параметр. Как правило, эта часть работы приходит с опытом по мере долгой и тщательной обработки природных материалов и коллекций.

1. Индексы видового богатства.

В основном эти параметры отражают число таксонов в конкретных выборках, часто дополненных для получения максимально полной и достоверной картины о биоценозе и наблюдениями, рисунками, фотографиями, собранными личиночными стадиями при отсутствии имаго и т.п.

1,2) **Индексы Маргалефа и Менхеника** (позволяют оценить – сколько видов приходится на число собранных или учтённых особей).

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N ,$$

$$D_{Mn} = S / \sqrt{N}$$

где S - число выявленных видов,

N - общее число особей всех найденных видов.

3) **Индекс Шеннона:** $H = - \sum (p_i \times \ln p_i)$, p_i - доля особей i -й биогруппы,

или более подробно: $H = - \sum (N_i / N) \times \ln(N_i / N)$,

где H – видовое разнообразие в битах, N_i - число особей i – ой биогруппы , N - общее число особей.

4) **Коэффициенты доминантности:**

а) **Индекс Бергера-Паркера:** $D = (N_i / N) 100\%$, где N_i - это численность всех особей данного вида (группы, семейства) во всех пробах, а N – это общая численность особей всех видов (всех групп, семейств) во всех пробах. Суммарно этот показатель равен 100%.

б) **Индекс Симпсона:** $D_s = \sum [(n(n-1)) / N(N-1)] \times 100\%$.

Как правило, индексы доминирования слабо чувствительны к объёму выборки и умеренно улавливают различия между биотопами, но при этом хорошо маркируют обилие фоновых (массовых) видов и таксонов.

2. Индексы сходства и различия.

Очень часто для эколого-теоретических, общебиологических или природоохранных целей важно сравнить сходные (т.е. относительно равноценные или адекватные друг другу) по основным признакам биоценозы (например, широколиственные, мелколиственные, смешанные леса одного типа – нагорные,

пойменные, байрачные и т.д.). Это даёт право сделать более корректные выводы о наиболее богатых и ценных экосистемах «одного ранга» по обилию или своеобразию их редких, реликтовых или уязвимых представителей флоры и фауны. Иногда для общих биологических исследований важно знать сравнительные характеристики разных сообществ между собой – по набору каких-то жизненных форм организмов, таксонов или отдельных видов. Здесь тоже нужно биологически корректно птиц сравнивать с птицами, водоросли – с водорослями, насекомых – с насекомыми.

Причём эти наблюдаемые различия, например, на территории наземно-сухопутных биоценозов могут проявляться не только в широтном или меридиональном направлении. Подобных примеров множество во всех географических зонах Евро-Азиатского континента. Существует структура вертикальной зональности в распределении разных популяций - от уровня моря до самых высоких ледников. В разных горных системах есть переходы от одного пояса к другому, проявляется эффект экотона и есть **азональные** биотопы (сообщества), которые вкрапливаются в общую однородную систему биоценозов одной зоны.

Очевидно, что биоценозы отличаются между собой не только по видовому разнообразию флоры и фауны, но и по обилию того иного таксона продуцентов, консументов или редуцентов. Количество особей может очень сильно отличаться в экосистемах даже одного и того же региона в пределах одной и той же зоогеографической зоны (биома), в акватории одной и той же экологической зоны Мирового океана или на территории одного природно-территориального комплекса. Число массовых видов, а также доминантных (или субдоминантных) видов в биоценозе не бывает большим. Чаще всего в биоценозах, которые существуют сотни и тысячи лет и могут считаться старыми и устойчивыми (по набору и соотношению автотрофов и гетеротрофов) многие виды и группы обладают средней или совсем небольшой численностью.

При исследовании экологических систем одного уровня организации и при сравнении их эколого-биологической структуры нередко бывают полезны разные математические коэффициенты, в том числе, например, коэффициенты Жаккара (K_1), Сьеренсена (K_2), Кульчинского (K_3):

$$K_1 = \frac{C}{A + B + C} ; \quad K_2 = \frac{2C}{A + B} ; \quad K_3 = \frac{C}{A + B - 2C} ;$$

где A – число видов данной биологической группы в одной экосистеме (территории); B – число видов той же биологической группы в другой экосистеме; C – число видов, общих для обеих экосистем (территорий или акваторий).

Первый коэффициент сравнения разнообразия более строгий и пропорциональный, второй имеет большую «разрешающую силу», когда сходство не очень сильно выражено и многие виды встречаются в обоих биогеоценозах. При вычислениях их нередко представляют попарно в одной и той же таблице, верхнюю правую часть ячейки заполняют значением K_1 , а нижнюю левую коэффициентом K_2 .

Все три вышеуказанных коэффициента выражаются одним определённым числом и носят качественный характер (примерно определяется сходство экосистем по заданному набору признаков).

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Задание № 1.

По данным таблицы № 1 построить две диаграммы:

- 1) число видов жёсткокрылых на разных участках заповедника;
- 2) общее количество особей жуков-хортобионотов (обитателей травянистого яруса) в зависимости на разных участках заповедника. Сделайте выводы и комментарии о полученных эколого-биологических характеристиках.

Задание № 2.

На степных участках заповедника «Галичья гора» в течение 2-х лет с весны до осени проводились сборы жёсткокрылых (жуков) методом кошения энтомологическим сачком (собрали 3851 экз. насекомых). Численность и видовое разнообразие жуков-хортобионтов показаны в табл. 2.

Найти индексы Маргалефа, Менхиника, Шеннона и коэффициенты доминантности для каждого семейства жёсткокрылых, сделать выводы о чувствительности этих параметров

Задание № 3.

Один из горных хребтов Кавказа имеет следующие типы ландшафтов:

1. Горные полупустыни (группировки нагорных ксерофитов с можжевельниками, таволгой, астрагалами и т.д.)

2. Горные степи. Разнотравные сообщества, в том числе на известняковых частях горных пород.

3. Лесные ландшафты. Включают нижний пояс леса (1500-1800 м) – буковые и широколиственно-сосновые леса, чисто сосновые, смешанные и лиственные берёзово-рябиновые леса.

4. Субальпийские луга. От 1700-1900 до 2500-2600 м н.у.м. Различают мезофитные и сухие остепнённые луга.

5. Альпийские луга. Мелкоосоково-мелкозлаково-разнотравные ассоциации.

6. Субнивальный пояс. Холодостойкие растения: мхи, лишайники, отдельные цветковые растения вокруг ледников. Встречаются на камнях и скалах, осыпях и моренах.

7. Агрорландшафты. Сады и поля в основном по южным склонам ущелий (пшеница, кукуруза и другие сельскохозяйственные растения).

Эти зоны комплексные, каждый пояс более-менее постепенно переходит один в другой. По многолетним сборам жуков (из семейства жужелиц) найти коэффициенты сходства Жаккара, Сьеренсена, Кульчинского между шестью основными горными поясами и сделать общие выводы о сходстве энтомофаун этих членистоногих. Какие различия в полученных коэффициентах кажутся вам наиболее важными?

Отчёт по практическому заданию должен содержать:

1. Теоретические основы методики расчёта видового и таксономического разнообразия в биоценозе (формулы индексов и коэффициентов с кратким объяснением входящих в них величин).

2. Собственно расчёт коэффициентов разнообразия. Рекомендации по охране экосистем (биогеоценозов) для максимального поддержания численности всех таксонов органического мира, которые входят в их состав.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Вопросы для устного самоконтроля:

1. Дайте определение экосистемы. Приведите примеры.
2. Чем естественные природные экосистемы отличаются от искусственных (агроценозов и урбоценозов)?
3. Что представляет собой явление экотона? Приведите примеры.
4. Чем биоценоз отличается от биогеоценоза?
5. Чем определяется устойчивость естественного сообщества или экосистемы?
6. Что представляет собой явление естественной сукцессии и от каких условий и факторов она зависит?

Вопросы для письменного самоконтроля:

1. Что такое альфа-разнообразие таксонов?
2. Что такое бета-разнообразие таксонов?
3. Что такое виды-доминанты? Определение.
4. Что такое реликтовые виды? Определение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вальтер Г. Общая геоботаника. Изд. Мир, 1982 г. 264 С.
2. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. Изд. «Высшая школа». М., 1971 г., 480 С.
3. Чернышёв В.Б. Экология насекомых. М. Изд. МГУ. 1996 г., 304 С.

ТАБЛИЦА № 1.

Численность и видовое разнообразие жуков-хортобионтов на степных участках заповедника «Галичья гора» с различными режимами содержания (Цуриков, 2002).

Участки степи	Количество экземпляров жёсткокрылых	Количество видов жёсткокрылых
Пал	1094	91
Периодически косимый	817	104
Абсолютно заповедный	656	76
Ежегодно косимый	645	72
Выпас	639	73
Всего:	3851	183

ТАБЛИЦА № 2.

Состав и численность семейств жёсткокрылых-хортобионтов на степных участках заповедника «Галичья гора» (Цуриков, 2002).

	Семейства жуков Coleoptera	Количество экземпляров	Количество видов
1.	Alleculidae (Пыльцееды)	5	1
2.	Anthicidae (Быстрянки)	1	1
3.	Attelabidae (Трубковёрты)	10	4
4.	Bruchidae (Зерновки)	80	3
5.	Buprestidae (Златки)	26	2
6.	Cantharidae (Мягкотелки)	18	4
7.	Carabidae (Жужелицы)	1	1
8.	Cerambycidae (Усачи)	4	2
9.	Chrysomelidae (Листоеды)	1152	53
10.	Coccinellidae (Божьи коровки)	508	14
11.	Cryptophagidae (Скрытноеды)	1	1
12.	Curculionidae (Долгоносики)	1311	63
13.	Elateridae (Щелкуны)	29	5
14.	Histeridae (Карапузики)	1	1
15.	Lagriidae (Мохнатки)	1	1
16.	Lathridiidae (Скрытники)	126	5
17.	Melyridae (Мелириды)	99	3
18.	Mordellidae (Горбатки)	195	7
19.	Nitidulidae (Блестянки)	176	3
20.	Oedemeridae (Узкокрылки)	7	3
21.	Phalacridae (Гладыши)	97	3
22.	Scarabaeidae (Пластинчатоусые)	2	2
23.	Tenebrionidae (Чернотелки)	1	1
	Всего:	3851	183

ТАБЛИЦА № 3.

Матрица мер пересечения между фаунами жужелиц (Ильина, 1995).

	1- гор- ные степи	2- леса	3- субаль- пийский пояс	4- альпий- ский пояс	5- культурные ландшафты	6- азональные биотопы
1 горные степи	<u>70</u>					
2 леса	21	<u>110</u>				
3 субальпийский пояс	13	44	<u>65</u>			
4 альпийский пояс	1	1	13	<u>29</u>		
5 культурные ландшафты	31	31	18	0	<u>50</u>	
6 аazonальные биотопы	11	28	16	12	2	<u>68</u>