

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра экологии и природопользования

А. А. Шайхутдинова

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование

Оренбург
2019

УДК 574.5(076.5)

ББК 20.18я7

Ш17

Рецензент – кандидат сельскохозяйственных наук М. А. Коваль

Шайхутдинова, А. А.

Ш17

Методы оценки биоразнообразия: методические указания / А. А. Шайхутдинова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019.

Методические указания позволяют освоить методы анализа и оценки биологического разнообразия на различных уровнях организации биосферы для практического применения в области экологического мониторинга и сохранения биоразнообразия.

В методических указаниях освещены следующие вопросы: понятие о биологическом разнообразии, его виды, способы оценки. Для студентов предложена практическая работа по оценке видового разнообразия рыбного населения группы озер.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий и организации самостоятельной работы по дисциплине «Биоразнообразие» для обучающихся по образовательной программе высшего образования направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

УДК 574.5(076.5)

ББК 20.18я7

© Шайхутдинова А. А., 2019

© ОГУ, 2019

Содержание

Введение.....	4
1 Биологическое разнообразие: основные понятия и методы оценки.....	5
1.1 Виды биологического разнообразия	5
1.2 Методы оценки биологического разнообразия.....	9
1.3 Оценка степени загрязнения водной среды по видовому разнообразию	16
2 Практическая работа 1 «Оценка видового разнообразия рыбного населения группы озер».....	27
3 Практическая работа 2 «Анализ β -разнообразия».....	33
Список использованных источников	36

Введение

Биологическое разнообразие – это разнообразие жизни во всех ее проявлениях, а также показатель сложности биологической системы, разнокачественности ее компонентов.

В науке биологическое разнообразие рассматривается на разных уровнях организации – от генов до экосистем. Видовое разнообразие при этом является центральным понятием при изучении биоразнообразия и различных аспектов, связанных с его сохранением и защитой природной среды.

В настоящее время для привлечения внимания к проблеме биоразнообразия день 22 мая объявлен Генеральной Ассамблеей ООН Международным днем биологического разнообразия.

Такое повышенное внимание к биологическому разнообразию способствовало увеличению исследований в этой области практического и теоретического характера, формированию в обществе понимания необходимости сохранения всех представителей живой природы, а также продолжению формирования и совершенствования международных и национальных законодательств в области сохранения живого мира во всем его многообразии.

Поэтому целью методических указаний состоит в изучение методики оценки биологического разнообразия на видовом, популяционном и экосистемном уровнях.

1 Биологическое разнообразие: основные понятия и методы оценки

1.1 Виды биологического разнообразия

Впервые термин «биологическое разнообразие» применил Г. Бэйтс в работе «Натуралист на Амазонке» (1892) при описании часовой экскурсии, во время которой он встретил около 700 видов бабочек.

Официальное современное определение термина «биоразнообразие» указано в Конвенции о биологическом разнообразии, которая была принята на конференции в Рио-де-Жанейро в 1995 г.: биоразнообразие – это вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы, и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем. Таким образом, согласно данному определению, биоразнообразие включает три уровня:

- генетическое разнообразие;
- разнообразие на организменном уровне;
- экологическое разнообразие.

Под генетическим разнообразием понимается разнообразие популяций, индивидов, хромосом, генов, нуклеотидов.

Разнообразие на организменном уровне включает разнообразие на разных таксономических уровнях (царства, типы, семейства, роды, виды, подвиды), а также популяций, индивидов.

Под экологическим разнообразием понимают разнообразие биомов, биорегионов, ландшафтов, экосистем, местообитаний, ниш, популяций.

Данная классификация видов биоразнообразия, хотя и получила отражение в официальном документе, но не является единственной и исчерпывающей.

Одной из широко известных классификаций является деление биоразнообразия на основе уровней видового разнообразия (см. таблицу 1.1). Данная классификация предложена американским экологом и фитоценологом Р. Уиттекером. На практике наиболее часто исследуют α -, β - и γ -разнообразие.

Таблица 1.1 – Формы и типы разнообразия по Р. Уиттекеру

Масштаб	Формы и типы биоразнообразия	
	Инвентаризационное	Дифференцирующее
Парцелла	Точечное α -разнообразие	Внутреннее β -разнообразие
Сообщество	α -разнообразие	β -разнообразие
Регион	γ -разнообразие	Δ -разнообразие
Биом	ξ -разнообразие	ω -разнообразие

Инвентаризационное разнообразие включает оценку разнообразия экосистем разного масштаба как единого целого.

Дифференцирующее разнообразие – оценка разнообразия между экосистемами.

Точечные α -разнообразие – разнообразие в пределах пробной площади или местообитания в пределах сообщества.

Внутреннее β -разнообразие – мозаичное разнообразие, изменение между частями мозаичного сообщества.

α -разнообразие – внутреннее разнообразие местообитания для описания, представляющего гомогенное сообщество.

β -разнообразие – разнообразие между различными сообществами вдоль градиента среды.

γ -разнообразие исследуется для ландшафта или серии проб, включающей более, чем один тип сообщества, конкретную флору или фауну.

Δ -разнообразие – географическая дифференциация, изменение сообщества вдоль климатических градиентов или между географическими регионами.

ξ -разнообразие исследуется для биома, географического региона, включающего различные ландшафты.

ω -разнообразие – разнообразие биомов в рамках ϵ разнообразия.

Для описания форм и типов биоразнообразия по Р. Уиттекеру используют различные таксономические единицы: виды, роды, семейства и т. д. Полное описание разнообразия всех живых организмов даже в пределах одного местообитания представляет крайне трудоемкую задачу, поэтому обычно исследователи ограничиваются определенными таксономическими группами.

Биоразнообразие, анализируемое на основе состава видов и других таксономических единиц, можно назвать таксономическим. Кроме того, можно выделить разные формы типологического биоразнообразия: разнообразие жизненных форм, жизненных стратегий, экологических групп, эколого-ценотических групп, географических и генетических элементов и т. д. Выделяют также биохорологическое разнообразие – разнообразие сочетаний организмов тех или иных территориальных выделов, частей биосферы.

Необходимо понимать, что биологическое разнообразие на определенной территории может меняться в результате:

- флуктуации (например, изменение числа и набора видов в разные сезоны года);
- сукцессии (естественного и антропогенного происхождения);
- эволюционные преобразования.

Попыткой обобщить самые разные аспекты биологического разнообразия можно считать следующую классификацию:

1 Разнообразие элементов включает генетическое, видовое, таксономическое разнообразие, разнообразие жизненных форм, экоморф, растительных аспектов (внешний вид растительного сообщества, изменяющийся на протяжении года в соответствии с чередованием фаз развития растений, например, при массовом цветении одуванчика

сообщество имеет желтый аспект), трофических группировок (продуцентов, консументов, редуцентов), синтаксонов (типов фитоценозов с установленным рангом), ценозов, биохимических особенностей (например, разнообразие растений по наличию алкалоидов, обуславливающих разнообразие фитофагов) и т. д.

2 Разнообразие взаимодействий включает разнообразие биотических взаимодействий, таких как мутуализм, протокооперация, хищничество, паразитизм, конкуренция, трофические, топические, фабрические и форические связи.

3 Механизмы, формирующие разнообразие, включают эффект эволюционного времени, эффект экологического времени, эффект биологического времени, эффект физического пространства, пространственной сложности, неоднородности.

4 Разнообразие процессов функционирования связано с разнообразием жизненных процессов у разных организмов, разнообразием потоков вещества и энергии.

Огромное влияние человека на природу обусловило появление особого вида биоразнообразия – разнообразия, созданного человеком. К нему относятся продукты селекции, генной инженерии: породы животных, сорта растений, штаммы микроорганизмов. За всю историю человечества было создано огромное количество новых вариаций живых организмов, часть из них безвозвратно утрачена, но благодаря современной науке искусственное разнообразие продолжает увеличиваться. Основной целью искусственного разнообразия является получение высокопродуктивных, устойчивых к болезням и абиотическим условиям полезных организмов, не приносящих вред природным видам и биоценозам. На экосистемном уровне биологическое разнообразие, созданное человеком, представлено агроценозами и урбоэкосистемами.

Таким образом, в связи с высокой сложностью биосистем, биологическое разнообразие имеет сложную структуру, причем зависит оно

от характера костного и биокостного вещества. Классификация биоразнообразия в настоящее время продолжает разрабатываться.

1.2 Методы оценки биологического разнообразия

Оценка биологического разнообразия проводится на разных уровнях. Центральным и наиболее часто используемым является уровень видового разнообразия.

Видовое разнообразие. В силу большого числа видов организмов, населяющих сообщества, и сложностью их учета, сбора и определения, как правило, исследователи выявляют биоразнообразие для отдельных групп организмов (например, разнообразие донной бентофауны, разнообразие стрекоз, разнообразие нематод и т. д.).

Основными компонентами на уровне видового разнообразия являются число видов и относительное обилие видов. На основе сравнения сообществ по числу видов можно сделать вывод о степени биоразнообразия в каждом из сообществ, если эти значения заметно разнятся. Однако более информативным будет учет участия разных видов в сообществе, то есть их относительное обилие:

- доминирующие виды – виды, преобладающие по числу особей в сообществе (иногда также выделяют виды-содоминанты);
- сопутствующие виды – виды, имеющие небольшое обилие;
- редкие виды – виды с относительным обилием менее 1 %.

Определение относительного обилия, как правило, производится глазомерно с использованием различных шкал. Например, для определения относительного обилия растений в фитоценозе в России нередко используется шкала Друде:

- Sol. (solitariae) – единично;

- Sp. (sparsae) – редко;
- Cop.1 (copiosae) – довольно обильно;
- Cop. 2 (copiosae) – обильно;
- Cop. 3 (copiosae) – очень обильно.

Оценка альфа-разнообразия основана на учете видового богатства (т. е. числа видов, отнесенного к определенной площади) и выравненности обилий видов (т. е. равномерности распределения видов по их обилию в сообществе).

Количество видов (S) является одним из самых простых показателей, с помощью которого можно оценить видовое разнообразие сообщества. Однако данный показатель очень сильно зависит от площади исследуемой территории, кроме того, при повторных обследованиях территории, изучении ее в разные сезоны года также обнаруживают новые для данной территории виды.

Зачастую у исследователя нет возможности выявить все виды, изучаемой группы живых организмов, в том или ином сообществе, т. е. выявить собственно видовое богатство. В этом случае используют нумерическое видовое богатство или видовую плотность.

Нумерическое видовое богатство – это количество видов на строго оговоренное число особей или на определенную биомассу.

Видовая плотность – это количество видов в расчете на определенную площадь.

Учесть не только число видов (S), но и количество особей данных видов в исследуемой выборке (N) позволяют индексы видового разнообразия. Наиболее часто используемыми являются индексы Маргалефа и Менхиника:

1 Индекс Маргалефа:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (1.1)$$

где S – количество видов;

N – количество особей данных видов в исследуемой выборке.

2 Индекс Менхиника:

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (1.2)$$

Чем выше значения индексов Маргалефа и Менхиника, тем выше видовое богатство сообщества. Основным недостатком индексов Маргалефа и Менхиника является зависимость от объема выборки.

Участие видов в сообществе отличается: одни виды представлены большим количеством особей, другие – единичными экземплярами. Принято считать, что сообщество с высокой выравненностью (примерно одинаковым обилием всех видов) характеризуется более высоким разнообразием. Хотя для разных групп организмов в силу особенностей их биологии и экологии данный параметр в норме может быть низким, например, у растений, фитопланктона выравненность в среднем низкая.

Учесть выравненность видов при оценке разнообразия позволяют индексы неоднородности, которые делятся на группы:

- информационно-статистические, основанные на теории информации (индексы Шеннона, Бриллюэна);
- индексы доминирования (индексы Симпсона, Бергера-Паркера, Пиелу).

При расчете индексов неоднородности используют показатель доли вида в сообществе:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (1.3)$$

где n_i – количество особей i -го вида;

N – общее число особей всех видов.

Наиболее часто используемые индексы неоднородности:

1 Индекс Шеннона:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i) \quad (1.4)$$

где $i = 1, 2, \dots, S$.

Чем выше значение индекса Шеннона, тем выше уровень видового разнообразия.

2 Индекс Симпсона:

$$D_{Sm} = \sum p_i^2 \quad (1.5)$$

где $i = 1, 2, \dots, S$.

По мере увеличения значения индекса Симпсона разнообразие уменьшается.

3 Индекс Бергера-Паркера:

$$d = \frac{N_{\max}}{N} \quad (1.6)$$

где N_{\max} – численность самого обильного вида.

С увеличением значения индекса Бергера-Паркера биологическое разнообразие уменьшается.

Наряду с индексами для оценки видового разнообразия используют графические изображения:

- ранговое распределение;
- частотное распределение.

При построении графика рангового распределения по оси ординат указывается обилие вида (количество особей), по оси абсцисс – ранг вида (порядковый номер ранжированного по обилию вида). График рангового распределения используют при анализе геометрических рядов.

При построении графика частотного распределения по оси ординат указывают число видов, по оси абсцисс – число особей. Графики частотного распределения в интегральной форме отражают видовую структуру, обращают внимание на виды с низким обилием.

Оценка бета-разнообразия проводится путем измерения динамики видового разнообразия вдоль среднего градиента или путем сравнения видового состава различных сообществ. Чем меньше общих видов в сообществах или в разных точках градиента, тем выше бета-разнообразие.

Для оценки бета-разнообразия используют показатели на основе данных по присутствию и отсутствию видов. Среди них наиболее универсальной считается мера Уиттекера:

$$\beta_w = \frac{S}{\alpha} - 1 \quad (1.7)$$

где S – общее число зарегистрированных видов;

α – среднее разнообразие выборок стандартного размера, измеряемое как видовое богатство.

Наиболее часто бета-разнообразие оценивают на основе индексов общности (коэффициентов сходства). В биоценологических, фаунистических и биогеографических работах часто используют индексы Жаккара и Серенсена-Чекановского. Данные коэффициенты изменяются от 1 (в случае полного совпадения видов сообществ) до 0 (если в сравниваемых выборках нет общих видов):

1 Индекс Жаккара:

$$I_J = \frac{c}{a+b-c} \quad (1.8)$$

где a – число видов в первом сообществе;
 b – число видов во втором сообществе;
 c – число общих видов.

2 Индекс Серенсена-Чекановского:

$$I_{s-c} = \frac{2c}{a+b} \quad (1.9)$$

где a – число видов в первом сообществе;
 b – число видов во втором сообществе;
 c – число общих видов для двух сообществ.

Индексы сходства просты для вычисления, но не учитывают обилие видов. В связи с этим используют модифицированные индексы, включающие показатели обилия. Например, модифицированный индекс Серенсена-Чекановского рассчитывается по формуле 1.10:

$$C_N = \frac{2cN}{aN + bN} \quad (1.10)$$

где aN – общее число особей на участке А;
 bN – общее число особей на участке В;
 cN – сумма наименьших из двух обилий видов, встреченных на обоих участках (например, если на участке А было найдено 10 особей вида, а на участке В – 30 особей того же вида, то cN будет равно 10).

Графическое представление данных при оценке бета-разнообразия часто основано на кластерном анализе. Кластерный анализ – это метод многомерного анализа, представляющий собой иерархическую классификацию объектов, разделение объектов на однородные группы. Для этого строят матрицу сходства, каждый элемент которой представляет собой показатель сходства между двумя выборками. Далее последовательно объединяют объекты в группы по степени сходства и представляют эти данные в виде дендрограммы. Для ее составления используют специальные компьютерные программы (например, Statistica http://www.statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/, модуль «GRAPHS» <http://m-graphs.com/index.php/ru>).

Экосистемное разнообразие. Основным видом экосистемного биоразнообразия является гамма-разнообразие. Его предлагают измерять по фитоценозам – сложным надбиоценозическим пространственным единицам растительного покрова от простых комбинаций растительности урочищ в масштабах 1 : 30000 – 1 : 100000 до комбинаций растительности ландшафтов в масштабах 1 : 1000000 – 1 : 3000000. Нередко за единицу учета принимают ландшафт.

Существует несколько способов измерения гамма-разнообразия:

- на основе информации, получаемой дистанционными средствами (как правило, это снимки многоканальной сканерной съемки со спутников, которые подвергают анализу);
- на основе совместного анализа топографических карт и сканерной съемки (позволяет оценивать разнообразие ландшафта с учетом рельефа);
- использование различных уравнений (например, индекс Шеннона);
- использование терминов пространственных показателей: степень фрагментации, форма пятен, сложность границ, совмещенность пятен и др.

1.3 Оценка степени загрязнения водной среды по видовому разнообразию

Всесторонняя, исчерпывающая характеристика состояния экологической системы возможна только на основании достаточно полных данных, касающихся разных водных сообществ. Для достижения этой цели необходимо особое внимание уделять абсолютным биологическим величинам и, прежде всего, видовому составу главнейших сообществ и количественным данным о видовых популяциях доминирующих и индикаторных видов. При этом должны приниматься во внимание только точные и надежные таксономические определения. Состав сообщества свидетельствует о среднем за длительное время составе воды. Причем разные организмы характеризуют отрезки времени разной продолжительности и представляют собой регистрирующие аппараты неодинаковой степени чувствительности. Поэтому в зависимости от обстоятельств и целей работы следует использовать различные группы организмов. В результате влияния на гидробионтов различных полутатов водной среды, прежде всего, обнаруживаются изменения в биологическом разнообразии гидроэкосистем. Изменения происходят даже при достаточно небольшом содержании токсикантов, выявить которые с помощью химико-бактериологических методов не всегда представляется возможным. Следовательно, водные организмы даже при самом поверхностном исследовании способны дать быструю и достаточно надежную информацию о биологической полноценности воды. Например, состав и структура сообществ донных беспозвоночных наиболее надежно характеризует качество водной среды и вероятно является важнейшей характеристикой состояния гидроэкосистемы в целом и ее антропогенных изменений. Это обусловлено двумя причинами:

– видовой состав макрозообентоса, по сравнению с его прочими характеристиками, в наибольшей степени детерминируется условиями среды;

– видовой состав является «ключевой» характеристикой сообщества бентоса, во многом определяя его остальные свойства.

Индексы видového разнообразия. В последнее время при биологическом анализе вод большое внимание уделяется использованию для этой цели различных индексов, применяемых в популяционной экологии. Поскольку с увеличением степени загрязнения видовое разнообразие, как правило, уменьшается, для оценки уровня загрязнения могут быть использованы индексы разнообразия, предложенные разными авторами.

Чрезвычайно широкое применение при изучении природных сообществ получили индексы видového разнообразия, среди которых наиболее популярен индекс Шеннона, заимствованный из теории информации:

$$H = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (1.11)$$

где N – суммарная численность или биомасса в сообществе;

n_i – численность или биомасса i -го вида в сообществе.

Маргалеф (1963) предложил другой индекс разнообразия:

$$k = 1,443 \ln \frac{N}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n} \quad (1.12)$$

где N – число видов на данном участке;

$n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ – численность отдельных видов на данном участке.

Абсолютная величина индекса возрастает за счет видов, численность которых наименьшая, то есть, за счет случайных видов, трофическая значимость которых в данный момент незначительна. Это обстоятельство снижает ценность указанного индекса.

Менхиникк (Menhinick, 1964) рассчитывал видовое разнообразие долевых насекомых по формуле:

$$d = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1.13)$$

где n – число особей;

S – число видов.

Широкому внедрению биологического анализа в практику изучения степени загрязнения водоемов препятствует необходимость для его проведения большого количества квалифицированных специалистов по систематике гидробионтов. Для преодоления этого затруднения Кернс и Диксон (1971) предлагают ограничиться установлением количества видов, которые хорошо различимы по форме тела, размеру, цвету и другим признакам. То есть степень загрязненности определяется по видовому разнообразию и для этого использовать так называемые индексы видового разнообразия. Основанием для этого послужили материалы об уменьшении видового разнообразия организмов при увеличении степени загрязнения водоемов.

Кернс и Диксон предложили индекс последовательного сравнения, который рассчитывается следующим образом:

1 Беспозвоночные каждой пробы, отобранные из грунта, перемешиваются в склянке и выливаются в белую эмалированную кювету с плоским дном, на котором нанесены параллельные линии. Комки организмов размываются водой так, чтобы каждая особь лежала отдельно из линий.

2 Сравнивают организмы между собой, начиная с первого на первой линии. Сравнивают одновременно лишь два организма: первый со вторым, второй с третьим и т. д. Первый организм обозначается буквой «Х». Если второй организм относится к тому же «виду», что и первый, его

обозначают буквой «Х», если к другому, то буквой «О». Затем сравнивают второй организм с третьим. Если третий организм относится к тому же «виду», что и второй, его обозначают той же буквой, что и второй, если к другому виду, то другой буквой. Для записи рядов используют только две буквы – «Х» и «О».

Например, имеется два ряда организмов:

- АБВАГДЕ – первый ряд;
- АААБААА – второй ряд.

В этих двух рядах каждая буква обозначает какой-либо вид, название которого неизвестно исследователю, но виды между собой хорошо различимы.

Первый ряд записывается буквами.

- 1 2 3 4 5 6 7;
- ХОХОХОХ.

Второй ряд записывается буквами:

- 1 2 3;
- ХХХ О ХХХ.

3 Подсчитывается число пробегов в записанных рядах. Под пробегом понимается ряд одинаковых букв («Х» или «О») стоящих рядом. В первом ряду каждая буква – отбельный пробег, во втором – три пробег.

4 Подсчитывается промежуточный индекс последовательного сравнения:

DJ_1 = число пробегов в пробе / число особей в пробе.

5 Повторяют определение DJ_1 несколько раз (2 – 6), предварительно каждый раз перемешав организмы, и подсчитывают среднее значение DJ_1 :

$$DJ_i = \frac{\sum DJ_i}{N} \quad (1.14)$$

где N – число, показывающее, сколько раз определено DJ_i .

6 Подсчитывают окончательный индекс последовательного сравнения DJ_t : $DJ_t = DJ_1 X$ (число «видов» в пробе).

7 Определяют 95 %-ный интервал достоверности DJ_t для каждой пробы. Если эти интервалы не перекрываются, значит, имеются различия в видовом разнообразии сравниваемых проб.

Для определения индекса последовательного сравнения достаточно, когда в анализируемой пробе находится 200 – 250 организмов. Незагрязненные реки имеют $DJ_t = 12$ и выше, в загрязненных он равен 8 и ниже.

Нередко при биологическом анализе вод большое внимание уделяется использованию для этой цели различных индексов видового разнообразия, применяемых в популяционной биологии. Поскольку с увеличением степени загрязнения видовое разнообразие, как правило, уменьшается, для оценки уровня загрязнения могут быть использованы индексы разнообразия, предложенные разными авторами в разное время.

Арчибальд (Archibald, 1972) при изучении видового разнообразия диатомовых водорослей как показателя качества воды использовал и сравнил между собой пять индексов видового разнообразия:

- индекс последовательного сравнения Кернса (1968);
- индекс, основанный на теории информации (Brillouin, 1960);
- индекс Симпсона (Simpson, 1949);
- индекс Маргалефа (Margalef, 1951, 1960);
- индекс Менхиникка (Menhimick, 1964).

Оказалось, что все пять индексов дают одинаковую оценку видового разнообразия. Лучшим из пяти подвергнутых сравнению индексов Арчибальд считает индекс последовательного сравнения Кернса (1968), так как он требует наименьшего количества времени для своего расчета, а расчет и истолкование результатов у этого индекса легче, чем у четырех других.

Симмонс (Simmons, 1972), отмечая преимущества индекса последовательного сравнения (возможность использования его

небиологами), указывает на его недостаточную точность, так как некоторые виды и рода может различить только специалист по систематике.

Индексы сходства населения. Временные и пространственные изменения и структурных водных биоценозов можно определить сравнением двух или нескольких проб. Показатели сходства населения, предложенные разными авторами, могут быть использованы для оценки уровня загрязнения, так как загрязнение является важным фактором, влияющим на состав биоценоза. Фитосоциологи одними из первых разработали соответствующие методы для разграничения сообществ растений в пространстве и определения их возможных сукцессий во времени. Д. Хеллауэл (1977) предлагает использовать эти методы для изучения пространственной прерывности между водными сообществами, которую можно отнести за счет изменения окружающей среды, и для обнаружения и измерения временных изменений между двумя следующими друг за другом пробами. Можно сравнивать видовой состав сообществ.

Для оценки степени флористического сходства между двумя участками Жаккар (Jaccard, 1906) предложил коэффициент общности:

$$k = \frac{c}{a + b - c} \times 100 \quad (1.15)$$

где c – число видов, общих для обоих участков;

a и b – число видов, обнаруженных на сравниваемых участках А и В.

Позднее Жаккар предложил рассчитывать индекс сходства по формуле:

$$k = \frac{c}{a + b} \times 100 \quad (1.16)$$

Индекс Жаккара в первой его форме был применен при обработке обширных материалов, собранных при детальном обследовании р. Потомак, проводившемся под руководством Патрик в 1936 – 1956 гг. Пробы отбирались на 5 постоянных станциях р. Потомак. Детально регистрировались виды многих групп водной флоры и фауны. Материалы были обработаны с помощью «группового анализа» (*cluster analyse*), применяемого для целей «нумерической систематики». Этот метод дает возможность установить, как распределяются по траппам изучаемые объекты по степени сходства между ними. Для каждой из станций были рассчитаны индексы сходства Жаккара со всеми остальными станциями. Раздельно были обработаны материалы по видовому составу простейших, водных насекомых, диатомовых и других водорослей и рыб. Группировка станций и соответствующие дендрограммы, построенные по видовому составу отдельных групп животных и растений, оказались очень сходными. Такой результат исследования показывает, что тщательное изучение видового состава какой-либо одной систематической группы достаточно для суждения об относительной загрязненности воды в отдельных пунктах отбора проб.

Гидробиологи чаще всего применяют коэффициент общности видового состава Серенсена (Sorensen, 1948). Она отражает общие положения теории множеств, в то время как формула Жаккара выведена эмпирически и по сравнению с формулой Серенсена дает занижение результатов на 15 – 20 % (Константинов, 1969). Серенсен (Sorensen 1948) использует в некотором видоизменении коэффициент Жаккара:

$$k = \frac{2j}{a + b} \quad (1.17)$$

где j – число видов, общих для сравниваемых участков;

a и b – число видов на участках А и В.

Лучшие результаты обеспечиваются при применении коэффициентов, в которых используются данные об относительном или абсолютном обилии видов, то есть их количественная представительность в сравниваемых биоценозах. Для этой цели рекомендуется использовать коэффициент абсолютного биотического сходства И. Чекановского (1913).

Индекс Чекановского (Chekanowski, 1913):

$$J = \frac{2w}{(A + B)} \quad (1.18)$$

где w – сумма меньших значений обилия видов, общих для обоих сообществ;

A, B – суммы значений обилия, соответствующих сообществам A и B .

Применительно к перифитону формула его расчета выглядит следующим образом:

$$K = \frac{2 \sum hc_{min}}{\sum h_a + \sum h_b} \quad (1.19)$$

где $\sum hc_{min}$ – сумма меньших баллов обилия видов, общих для обоих биоценозов;

$\sum h_a$ и $\sum h_b$ – суммы баллов обилия для всех обнаруженных видов в обоих биоценозах.

Индекс сходство Раабе (Raabe, 1952):

$$J = \sum_{min} (a, b, c, \dots, n) \quad (1.20)$$

где a, b, c, \dots, n – минимальные значения (в %) каждого вида, общего для обоих сообществ.

Достоинством двух последних индексов сравнения, в отличие от первых четырех является то, что они относятся к видам, общим для обоих сообществ, имеющих минимальную численность.

Кеслер и Кернс (1971) отмечают, что материалы по р. Потомак избыточно велики для подразделения станций на группы по степени сходства флоры и фауны. К этому можно добавить, что столь скромная цель как группировка пяти изученных станций по степени загрязнения, видимо, могла бы быть достигнута и более простым путем.

Кульчинский (Kulczynski, 1927) предложил вычислять коэффициент общности по формуле:

$$k = 1/2\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) \quad (1.21)$$

где a и b – число видов, встречающихся только на участках A и B .

Б. А. Вайнштейн (1967) для оценки сходства биоценозов по обилию и видовому составу применял коэффициент биоценологического сходства (K_6):

$$K_6 = \frac{K_o \times K_b}{100}, \% \quad (1.22)$$

где K_b – коэффициент сходства видового состава (Алехин и др., 1925);

K_o – коэффициент общности удельного обилия, предложенный А. А. Шорыгиным (1939, 1952) для сравнения спектра питания рыб и использованный Б. А. Вайнштейном (1949) для оценки сходства сообществ.

Коэффициент сходства видового состава равен:

$$K_B = \frac{V_3 \times 100}{V_1 + V_2 - V_3} \quad (1.23)$$

где V_1 и V_2 – число видов первого и второго биоценозов;

V_3 – число видов, общих обоим биоценозам.

Коэффициент общности удельного обилия (K_o) вычисляется следующим образом. Сначала определяется удельное обилие каждого вида в каждом биоценозе, то есть процент числа особей данного вида от общего их числа в биоценозе:

$$O = \frac{n}{N} 100 \quad (1.24)$$

где O – удельное обилие;

n – обилие (число особей) на пробу;

N – суммарное обилие всех видов.

Затем в двух сравниваемых биоценозах удельные обилия общих им видов сравниваются, отбираются меньшие величины для каждого вида и суммируются:

$$K_o = \sum O_{min} \quad (1.25)$$

где O_{min} – меньшее из каждой пары сравниваемых обилий.

Коте (Kothe, 1962) предложил способ оценки качества воды, для применения которого необходимо знать количество видов на загрязненном участке (A_x) и на участке, сходном с ним по экологическим условиям, но не подверженном загрязнению (A_1). Величиной, характеризующей уровень загрязнения, является степень обеднения видами, которая определяется по формуле:

$$A = \frac{A_1 - A_x}{A_1} \times 100\% \quad (1.26)$$

Применение этого метода, по мнению Коте, дополняет результаты, полученные с помощью методов Кнеппа, Пантле и Букка.

Бик с сотрудниками (Beak et al., 1959) для оценки влияния на бентос оз. Онтарио в районе сброса вод производства синтетических волокон вели наблюдения на станциях, расположенных близко от места сброса (внутренний круг станций) и на более удаленных станциях (внешний круг). Состав макробентоса без определений до вида был разбит на 4 группы: олигохеты, двустворчатые моллюски, гастроподы и хирономиды. По результатам круглогодичных наблюдений на станциях внутреннего и внешнего кругов рассчитывалось двумерное распределение численности каждой из групп (на горизонтальной оси численность на станциях внутреннего, на вертикальной внешнего круга). На проекции распределения оконтуривались границы отклонений, соответствующие вероятностям 0,95 и 0,99. На том же графике отмечалось положение проекции мод распределения для каждой даты наблюдения. В тех случаях, когда соответствующие точки оказываются за пределами контуров, требуется выяснение причин отклонений, выводящих за пределы распределения. Авторы отмечают полученный при применении этого приема, показал, что он чувствителен и обнаруживает изменение в условиях задолго до как опытный наблюдатель их может заметить.

2 Практическая работа 1 «Оценка видового разнообразия рыбного населения группы озер»

В ходе ихтиологических исследований озер было обнаружено 12 видов рыб: арктический голец, сибирский сиг-пыжьян, пелядь, сибирский хариус, щука, голянь речной, европейский хариус, налим, колюшка девятииглая, ерш, окунь, подкаменщик.

Варианты заданий представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

Номер варианта (номер района)	Озера в вашем районе
1	1, 3, 4, 5, 8, 9
2	1, 2, 4, 5, 6, 7
3	2, 3, 5, 6, 7, 8
4	3, 4, 6, 7, 8, 9
5	4, 5, 7, 8, 9, 10
6	1, 5, 6, 8, 9, 10
7	1, 2, 6, 7, 9, 10
8	1, 2, 3, 7, 8, 10
9	1, 2, 3, 4, 8, 9
10	2, 3, 4, 5, 9, 10
11	1, 3, 4, 5, 6, 10
12	2, 4, 5, 6, 7, 8
13	1, 2, 6, 7, 8, 9
14	2, 3, 7, 8, 9, 10
15	1, 3, 4, 8, 9, 10
16	2, 4, 5, 6, 9, 10
17	1, 3, 4, 5, 6, 10
18	1, 2, 4, 5, 7, 8
19	2, 3, 6, 7, 8, 10
20	3, 4, 7, 8, 9, 10

Таблица 2.2 – Численность рыб исследованных озер (в экз./ус. час)

Наименование вида	Номер озера									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Арктический голец (<i>Salvelinus alpinus L.</i>)	1,0	–	0,2	–	1,2	0,35	0,2	–	1,4	0,42
Сибирский сиг- пыжьян (<i>Coregonus lavaretus pidschian Gmel.</i>)	–	0,3	–	–	0,5	0,35	0,35	–	–	0,6
Пелядь (<i>Coregonus peled Gmel.</i>)	1,5	1,1	0,2	0,45	–	1,1	0,8	0,6	1,2	–
Сибирский хариус (<i>Thymallus arcticus Pallas</i>)	0,4	0,4	–	–	–	0,4	1,1	1,8	–	0,2
Щука (<i>Esox lucius L.</i>)	–	–	–	0,5	–	–	0,8	0,2	–	–
Гольян речной (<i>Phoxinus phoxinus L.</i>)	12,0	15,0	13,0	25,0	20,25	16,0	13,0	14,0	–	–
Европейский хариус (<i>Thymallus thymallus L.</i>)	0,5	0,6	0,1	0,21	1,1	0,6	1,1	–	5,2	1,25
Налим (<i>Lota lota L.</i>)	0,2	–	0,15	–	0,3	–	0,1	0,4	2,3	0,12
Колюшка девятииглая (<i>Pungitius pungitius L.</i>)	0,2	–	–	–	0,3	–	0,3	0,6	0,6	–
Ерш (<i>Gimnocephalus cernuus L.</i>)	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	–	0,4	0,5	–
Окунь (<i>Perca fluviatilis L.</i>)	–	–	–	0,2	0,2	0,1	–	0,2	0,4	1,2
Подкаменщик (<i>Cottus gobio L.</i>)	0,2	0,1	–	0,1	0,2	0,1	–	0,1	0,5	–

Представьте данные по своему варианту в виде таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Численность рыб исследованных озер (в экз./ус. час)

Вид	Номер озера						Все озера в районе
...							
...							
Итого							

Задание.

1 Постройте для каждого озера графики рангового и частотного распределения обилий видов, которые позволят получить представление о модели распределения видового обилия (пример на рисунках 2.1 и 2.2).

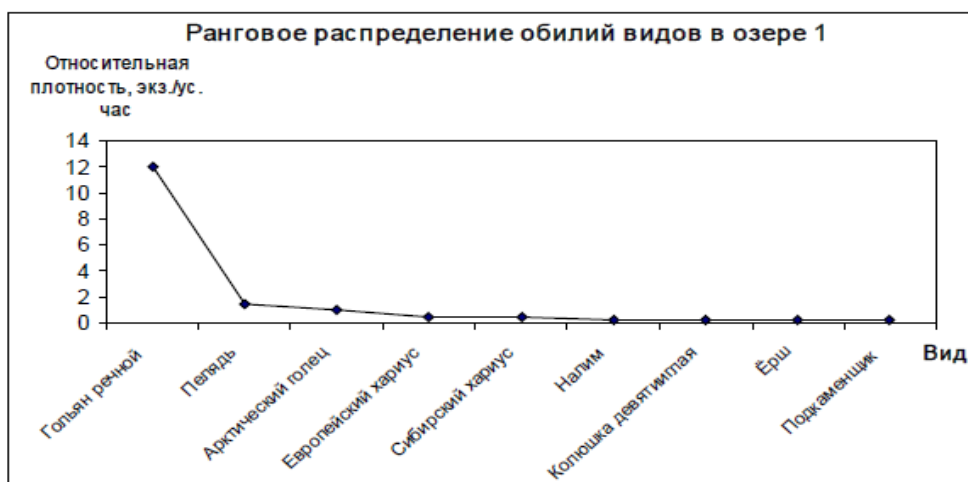


Рисунок 2.1 – График рангового распределения обилий видов для озера 1

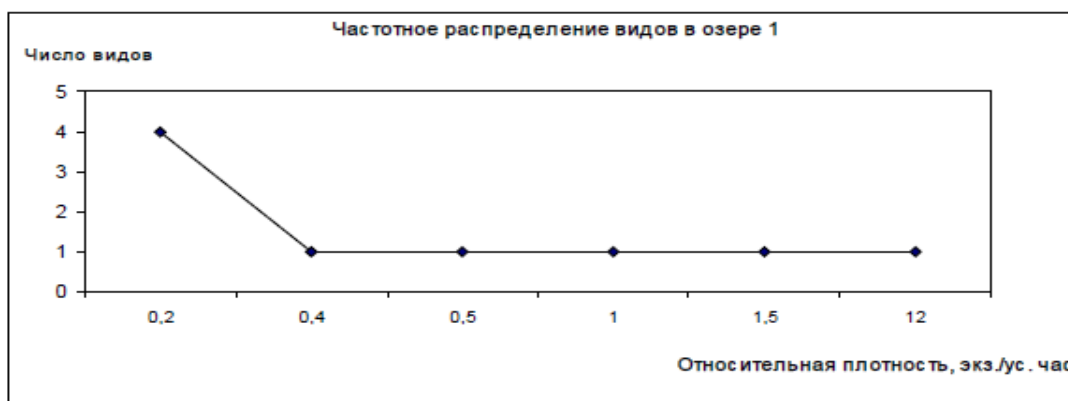


Рисунок 2.2 – График частотного распределения обилий видов для озера 1

Сделайте вывод о ранговом и частотном распределении обилий видов для каждого озера в вашем районе.

2 Рассчитайте индексы видового разнообразия Маргалефа и Менхиника для каждого водоема и ихтиофауны данного района в целом.

Пример. Индексы видового разнообразия Маргалефа и Менхиника для озера 1:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} = \frac{9-1}{\ln 16,2} = 2,9$$

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} = \frac{9}{\sqrt{16,2}} = 2,25$$

Полученные данные представьте в виде таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов индексов видового разнообразия Маргалефа и Менхиника

Номер озера	Индекс Маргалефа	Индекс Менхиника
1		
2		
3		
4		
5		
6		
Все озера в районе		

Сделайте вывод по результатам расчета индексов видового разнообразия Маргалефа и Менхиника.

3 Рассчитайте индексы неоднородности для каждого озера и ихтиофауны данного района в целом.

Пример. Индексы неоднородности Шеннона, Симпсона (таблица 2.5) и Бергера-Паркера для озера 1:

$$d = \frac{N_{\max}}{N} = \frac{12}{16,2} = 0,74$$

Таблица 2.5 – Индексы неоднородности Шеннона, Симпсона для озера 1

Вид	Доля вида в сообществе	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона
Арктический голец	$\frac{n_i}{N} = \frac{1}{16,2} = 0,06$	$p_i \cdot \ln(p_i) = 0,06 \cdot \ln 0,06 = -0,17$	$p_i^2 = 0,06^2 = 0,036$
Пелядь	0,09	-0,22	0,0081
...			
Ихтиофауна района	-	$H' = -\sum H'_i = 0,99$	$D_{Sm} = \sum D_{Smi} = 0,5934$

Полученные данные представьте в виде таблицы 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты расчетов индексов неоднородности

Вид	Доля вида в сообществе	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона
...			
...			
Ихтиофауна района			

Сделайте вывод по результатам расчета индексов неоднородности.

4 Рассчитайте меру разнообразия Уиттекера изученных озер.

Пример. Мера Уиттекера для озер 1 и 2:

$$\beta_w = \frac{S}{\alpha} - 1 = \frac{10}{\left(\frac{9+7}{2}\right)} - 1 = \frac{10}{8} - 1 = 0,25$$

5 Рассчитайте коэффициенты сходства Жаккара, Серенсена-Чекановского и модифицированный индекс Серенсена-Чекановского для озер 1 и 2:

Пример. Коэффициенты сходства Жаккара, Серенсена-Чекановского для озер 1 и 2:

$$I_J = \frac{c}{a+b-c} = \frac{6}{9+7-6} = 0,6$$

$$I_{S-c} = \frac{2c}{a+b} = \frac{2 \cdot 6}{9+7} = 0,75$$

$$C_N = \frac{2cN}{aN+bN} = \frac{2 \cdot (1,1+0,4+12+0,5+0,1+0,1)}{16,2+17,6} = \frac{28,4}{33,8} = 0,84$$

Представьте полученные коэффициенты сходства в виде матрицы:

	Озеро _	Озеро _	Озеро _	Озеро _	Озеро _	Озеро _
Озеро _						
Озеро _						
Озеро _						
Озеро _						
Озеро _						
Озеро _						

6 Проанализируйте полученные результаты. Сделайте выводы об уровне видового разнообразия ихтиофауны данных озер.

3 Практическая работа 2 «Анализ β -разнообразия»

Задание 1. В сообществах А и Б насчитывается по 8 видов. Численность каждого вида для сообщества А составляет $n_1 = 31$, $n_2 = 26$, $n_3 = 19$, $n_4 = 8$, $n_5 = 8$, $n_6 = 6$, $n_7 = 6$, $n_8 = 5$. Численность для сообщества В составляет $n_1 = 11$, $n_2 = 11$, $n_3 = 10$, $n_4 = 9$, $n_5 = 8$, $n_6 = 8$, $n_7 = 7$, $n_8 = 5$. Рассчитайте индекс Менхиника и индекс Бергера-Паркера для сообществ А и В. Видовое разнообразие какого из сообществ выше и почему?

Задание 2. При маршрутном методе обследования участка березового сосняка в период гнездования была получена выборка (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Результаты обследования участка березового сосняка

Наименование вида	Количество особей, шт.	Наименование вида	Количество особей, шт.
Зяблик	12	Пеночка-трещотка	2
Пеночка-весничка	10	Чиж	2
Зеленый пересмешник	10	Обыкновенная пищуха	2
Мухоловка пеструшка	9	Снегирь	2
Зарянка	7	Обыкновенная овсянка	2
Зеленая пеночка	4	Удод	1
Буроголовая гаичка	4	Садовая камышовка	1
Пестрый дятел	4	Серая мухоловка	1
Пеночка-теньковка	4	Обыкновенный поползень	1
Лесной конек	4	Славка черноголовая	1
Иволга	4	Соловей	1
Садовая славка	4	Дрозд певчий	1
Большая синица	4	Дрозд-деряба	1
Горихвостка	4	Длиннохвостая синица	1

Оценить видовое разнообразие по индексу Менхиника и дать оценку выравненности сообщества, рассчитав индекс Бергера-Паркера и индекс Симпсона.

Задание 3. Площадь трех учетных площадок равна 20×50 м каждая. Характеристика биоценозов представлена в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Характеристика биоценозов

Наименование биоценоза	Число видов сосудистых растений	Относительная значимость видов (% от чистой первичной продукции леса)
Субальпийский пихтовый лес	8	70; 24; 8; 0,61; 0,30; 0,15; 0,10; 0,05
Широколиственный лес	41	36; 22; 16; 14; 6,6; 3,4; 1,6; 1,4; 1,0; 0,6; 0,55; 0,45; 0,41; 0,25; 0,25; 0,20; 0,20; 0,16; 0,14; 0,10; 0,09; 0,08; 0,07; 0,07; 0,06; 0,06; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,009; 0,008; 0,007; 0,007; 0,005; 0,004; 0,004; 0,003; 0,002; 0,001; 0,001

Таблица 3.3 – Характеристика орнитофауны широколиственного леса

Число видов птиц	Значимость видов (% от плотности гнездящихся пар птиц)
21	21; 16; 15; 12; 10; 7,5; 7; 5,5; 4,5; 3,5; 3,0; 3,0; 2,5; 2,3; 2,3; 2,3; 1,0; 1,0; 1,0; 0,5; 0,5

Рассчитайте индекс Симпсона для трех сообществ. Постройте графики (ось ординат – относительная значимость видов, %; ось абсцисс – последовательность видов) относительной значимости видов в этих биоценозах и проанализируйте их. Какой тип распределения относительной значимости видов соответствует более устойчивому биоценозу?

Задание 4. В таблице 3.4 приведено описание древесно-кустарниковой растительности двух городских парков. Оцените концентрацию доминирования и видовое богатство в этих парках при помощи индекса Симпсона и индекса Менхиника. Проанализируйте общность видового состава фитоценозов.

Таблица 3.4 – Растительность городских парков

Наименование вида	Количество особей, шт.	Наименование вида	Количество особей, шт.
Парк А		Парк Б	
Береза	152	Черемуха	29
Орешник	36	Акация желтая	24
Ель	29	Орешник	24
Дуб	23	Береза	21
Ива серебристая	22	Дуб	17
Тополь серебристый	20	Лиственница	15
Клен	11	Ель	11
Рябина	10	Тополь	10
Тополь	5	Шиповник	10
Черемуха	4	Сосна	10
Смородина	3	Омела	10
		Ива серебристая	7
		Сирень	6
		Клен	5
		Рябина	4

Задание 5. В таблице 3.5 представлен видовой состав гнездящихся птиц на трех участках приволжской степи. Сравните видовой состав орнитофауны на трех участках приволжской степи.

Таблица 3.5 – Видовой состав орнитофауны приволжской степи

Видовой состав птиц	Наименование участка		
	Ковыльная степь	Посевы с лесополосами	Посевы без лесополос
Степной жаворонок	+	+	+
Полевой жаворонок	+	+	+
Малый жаворонок	+	+	+
Каменка-плясунья	+		+
Каменка-пleshанка	+		
Желтая трясогузка		+	
Розовый скворец		+	
Перепел		+	
Лунь степной	+	+	
Лунь полевой			+
Орел степной	+		
Чибис			+

Список использованных источников

- 1 Бродский, А. К. Введение в проблемы биоразнообразия. Иллюстрированный справочник / А. К. Бродский. – СПб. : Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2002. – 144 с.
- 2 География и мониторинг биоразнообразия : серия учеб. пособий «Сохранение биоразнообразия» / Н. В. Лебедева. – М. : Изд-во НУМЦ, 2002. – 432 с.
- 3 Дебело, П. В. Некоторые направления сохранения биоразнообразия в Урало-Каспийском регионе / П. В. Дебело, А. А. Чибилев, З. Н. Рябинина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 5 (87). – С. 34 – 38.
- 4 Дебело, П. В. Проблемы сохранения ландшафтного и биологического разнообразия в системе Российско-казахстанского Приграничного сотрудничества / П. В. Дебело, С. В. Левыкин, А. А. Чибилев // Материалы международной конференции «Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий». – Оренбург : ИПК «Газпромпечатъ», 2001. – С. 340 – 342.
- 5 Жирков, И. А. Жизнь на дне. Биогеография и биоэкология бентоса / И. А. Жирков. – М. : Т-во научных изданий КМК, 2010. – 453 с.
- 6 Картахенский протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии. Международный протокол. – СПб., 2000. – 34 с.
- 7 Конвенция о биологическом разнообразии. «Охрана окружающей среды. Международные правовые акты : Справочник». – СПб., 1996. – 68 с.
- 8 Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М. : Мир, 2012. – 166 с.
- 9 Примак, Р. Основы сохранения биоразнообразия / Р. Примак. – М. : Изд-во науч. и учеб.-метод. центра, 2014. – 256 с.

- 10 Протасов, А. А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсиконология / А. А. Протасов. – Киев : [б. и.], 2002. – 105 с.
- 11 Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». – М. : Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015. – 124 с.
- 12 Соловьева, В. В. Структура и динамика фитопланктона мелководий и пелагиали Волжского плеса Рыбинского водохранилища / В. В. Соловьева, Л. Г. Корнева // Биология внутренних вод. – 2016. – № 4. – С. 34 – 41.
- 13 Татаринов, А. Г. Видовое разнообразие и методы его оценки : учеб. пособие / А. Г. Татаринов, М. М. Долгин. – Сыктывкар : [б. и.], 2010. – 44 с.
- 14 Шабалина, Ю. Н. Биоразнообразие : учеб. пособие / Ю. Н. Шабалина. – Ухта : УГТУ, 2015. – 45 с.
- 15 Юрцев, Б. А. Эколого-географическая структура биологического разнообразия и стратегия его учета и охраны / Б. А. Юрцев // Биологическое разнообразие : подходы к изучению и сохранению. – СПб. : ЗИН РАН, 1992. – С. 7 – 21.