

Министерство просвещения Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный  
гуманитарно-педагогический университет»

**С.Г. Захаров**

**АРЕАЛ. БИОРАЗНООБРАЗИЕ**

Лекция

Челябинск  
2022

УДК 574 (021)  
ББК 28.085я73  
З-38

**Захаров, С.Г. Ареал. Биоразнообразие: лекция / С.Г. Захаров. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2022. – 58 с. – Текст: непосредственный.**

ISBN 978-5-907611-05-4

В научной лекции подробно рассматриваются понятия ареала, особенностей его структуры и границ, формы и динамики. Разбираются понятия *эндемизм* и *викарирование*; темы традиционно несколько затрудненные для восприятия студентов.

Биоразнообразие рассмотрено как одна из категорий устойчивости биосистем; рассмотрено биоразнообразие различных рангов ( $\alpha$ ,  $\beta$ ); приведены формулы расчета видового обилия, видового разнообразия, общности группировок.

Материал, изложенный в лекции, поможет студентам в освоении разделов учебных дисциплин «Биогеография», «География растений и животных», а также поможет в дальнейшем организовать учебно-исследовательскую работу со школьниками по изучению биогеографических особенностей животного и растительного мира на местности.

Рецензенты: Б.В. Красуцкий, д-р биол. наук, профессор  
А.В. Малаев, канд. геогр. наук, доцент

ISBN 978-5-907611-05-4

© С.Г. Захаров, 2022  
© С.Г. Захаров, фото на обложке  
(Цейское ущелье, Кавказ), 2022  
© Издательство Южно-Уральского государственного  
гуманитарно-педагогического университета, 2022

## Содержание

От автора .....	4
Часть 1. Ареал .....	8
Часть 2. Биоразнообразие.	
Методы оценки биоразнообразия .....	23
Часть 3. Биогеографические исследования с обучаемыми .....	40
Часть 4. Примеры расчетов и заданий по ареалогии и биоразнообразию .....	48
Библиографический список .....	56

## От автора

Изучение ключевых тем биогеографии: «Ареал» и «Биоразнообразии» важно не только для более глубокого усвоения самой науки биогеографии, но и понятия о географических границах, их изменчивости во времени и пространстве, для понимания комплексности проблем охраны окружающей природной среды.

Практические задания по изучению целостности и дизъюнкции ареалов поднимают вопросы расселения животных и растений, существования пространственных географических барьеров и биологического давления (конкурентных отношений) как в наши дни, так и в прошлом. С изучением темы «Ареал» тесно связано изучение понятий *эндемик, викарирующий вид, аллохтонное и автохтонное население*, а также географические свойства жизни: *локализация, экспансия, колонизация, оккупация, конгруэнтность, коммунальность*. Изучение ареалов находит отражение в учебных курсах географии 7 класса (География материков) и 8 класса (Физическая география России), а при углубленном изучении географии – в спецкурсах по ландшафтоведению и охране окружающей природной среды. Также изучение ареалов растений и животных важно в курсе биологии 6 класса (Ботаника) и 7 класса (Зоология).

Освоение темы «Биоразнообразии» способствует пониманию значения биогеографии в вопросах сохранения природы – инвентаризация и учет биологических видов, научное обоснование размещения и размеров зон ООПТ, ведение Красной книги. В теме «Биоразнообразии» сту-

денты учатся решать различные задачи по расчету индексов видового разнообразия, видового обилия, сходства сообществ и др. Умение самостоятельно определять биоразнообразие определенных территорий важно для учителя географии и биологии, т.к. позволяет ему руководить проектными работами обучающихся в средней школе; знанием, полученным из первых рук, мотивировать обучаемых к изучению предметов: география, биология, экология.

Существуют различные подходы как к выделению ареала, так и к определению понятия «биоразнообразие». В данном пособии определения понятиям «ареал» и «биоразнообразие» приводятся в авторской модификации (выделены жирным шрифтом); автор надеется, что данные определения будут пользоваться симпатией читателей.

Для написания данного пособия автор опирался как на классические, так и на современные труды в области теоретической биогеографии: А.Г. Воронова, Н.Н. Дроздова, Д.А. Криволуцкого [2], К.М. Петрова [9], В.Г. Мордковича [8], И.А. Жиркова [3].

***P.S.** Необходимое пояснение, если данная брошюра нечаянно попадет в руки магистрантов или аспирантов.* Автор честно предупреждает, что не является по специальности биогеографом, не принадлежит к числу чистых приверженцев ни парадигмы структурализма, ни континуализма, а использует их подходы в зависимости от сиюминутной выгоды, исповедуя принцип – чем проще и понятней, тем вероятней так оно и было. Автор удерживается от соблазна объявить, что биологический вид, краеугольный камень современной биологии, в ка-

кой-то степени может быть в биогеографическом изучении заменен на экоформу (биоморфу, жизненную форму, сукцессионную систему) с присущей ей симметрией, локоторными особенностями и спектром гармоничного/дисгармоничного заполнения биотопа (биогеоценоза) экосистемы. Хотя проверить, конечно, не мешало бы.

Автор немного завидует киногероям-следователям, легко определяющим на одежде и обуви подозреваемых не только пыльцу растений редких видов, но и уверенно определяющих местопроизрастание оных. Видно, что они серьезно изучают ареалогию, чего автор и вам желает. На практике же бывает обратное: исследователь, придя в самое сердце ареала какого-либо вида (многократно нанесенного на карты предыдущими исследователями), по каким-либо причинам никак не может обнаружить его (вида) представителей. Здесь пригодится старый географический девиз: «Бороться и искать, найти и не сдаваться».

*P.P.S. Советы автора студентам, вздумчиво изучающим биогеографию:*

1. Перечитать последнее предложение в постскрип-туме.

2. Не все книги и не всех авторов нужно читать сразу – иногда они противоречат друг другу. Кстати, проверяйте и математические расчеты – в книжках встречаются досадные неточности и опечатки.

3. Все же надо читать книги разных авторов. Только нельзя увлекаться свежей идеей до стадии ослепления, какой бы привлекательной она ни казалась.

4. Вид остается краеугольным камнем биологии и биогеографии, как науки о познании форм движения

живого вещества. Чарльз Дарвин прав (но, разумеется, современное знание обширней его познаний).

5. Жизнь биологического вида в пределах земного пространства идет как по индивидуальной траектории, так и в совокупном движении с сообществом(ами), куда данный вид входит (или может войти).

6. Биogeография (да, впрочем, и вся география) – это не только наука об ареалах и природных комплексах (биомах); это в том числе и наука о границах, о закономерностях их образования, проницаемости границ.

7. Биogeография – это очень интересно и очень актуально для эпохи поисков устойчивого развития природы при ее культурно-техногенном преобразовании человеческим обществом.

## Часть 1. Ареал

**Ареал** – часть земной поверхности, где встречаются особи какого-либо биологического вида или рода, либо таксона более высокого ранга (отряда, семейства). Поскольку иногда отдельные особи вида значительно отрываются от общей стаи (как-то птичку колибри занесло на Чукотку, где, к сожалению, она выжить и дать плодovitое потомство не смогла), то более точное обозначение ареала – **это часть земной территории, в пределах которой вид не только распространен, но и проходит полный цикл своего развития.** Временные проникновения отдельных представителей вида за пределы своего ареала можно рассматривать как попытку расширить ареал (или попытку к бегству от невыносимых сородичей по коммунальной квартире), но до проявления устойчивого освоения участка пространства (появление 1 поколения потомков от взрослых особей) – мы будем относить такое проникновение к размытой границе ареала, или даже пока учитывать не будем. Ареал характеризуется определенными параметрами: размерами, границами, конфигурацией, историей формирования, современной динамикой. Становление ареала отражает эволюцию биологического вида и его распространение по земной поверхности.

Ареал – географическая (пространственная) характеристика вида. Основной метод изучения ареалов – картографический.

**Важно:** для понимания вопросов динамики ареала мы исходим из постулата, что каждый вид глубоко



*индивидуален и уникален, может появиться в процессе эволюции только один раз. Каждый вид занимает только одну, свойственную ему (занятую им) экологическую нишу. После своего появления в конкретной точке земного пространства вид может сколь угодно долго расширять свой ареал при условии преодоления им географических и биологических барьеров, распадаться на вторичные ареалы при наступлении неблагоприятных условий, сохраняться в рефугиумах (убежищах), приспосабливаться к иной экологической нише и менять свои привычки. Вид вступает во взаимоотношения с другими видами в экологическом сообществе (конкурирующие, симбиотические и др.). Рано или поздно вид исчезает.*

### **Структура ареала**

Ареалов, сплошь заселенных тем или иным видом, в природе не существует. Исключения – по сути своей есть краткие динамические состояния геосистем: так после осушения береговой зоны или обрушения части склона сюда может в первый год проникнуть 1 вид пионерного растения; после извержения вулкана (как следствие – уничтожен почвенно-растительный покров) всегда будут первопоселенцы, из которых 1–2 вида какое-то время будут особенно выделяться. Но время существования упрощенных пионерных одновидовых экосистем очень коротко, хотя чем дальше от экватора и чем ближе к арктическим пустыням (с замедлением скорости биологического круговорота) мы наблюдаем увеличение периода существования пионерных видов. Также можно себе представить небольшой остров в океане, расположенный далеко от суши – первоначальное время его заселения сухопутными растениями будет весьма продолжительно.

Но если же брать совокупно и представителей царств растений, животных и грибов (не говоря уже о более мелких представителях иных царств) – то действительно, времена одиноких видов в ландшафте на нашей планете давно (около 300 млн лет назад) канули в прошлое.

В пределах ареала вид занимает не всю площадь (иначе – где разместятся другие биологические виды?), а только соответствующую его экологическому спектру местообитания. В пределах площади ареала какого-либо вида всегда будут сгущения и разрежения (мозаичный характер). Это своеобразное экологическое кружево – избирательное заселение вида/популяции внутри ареала (топографическое кружево ареала, по Н.Ф. Реймерсу). Расселение видов бывает причудливым. Наиболее простое представление: существуют зоны оптимума и пессимума ареала (в центральной части вид обилен, на периферии – редок). Разработано правило смены местообитаний: вид в средней части ареала встречается на южных и северных склонах, в северной части ареала остается только на южных склонах, а в южной части ареала – только на северных склонах (правило предварения, по В.В. Алехину). Но это общая упрощенная модель, учитывающая только колебания температуры и влаги. Биологическое давление вида (или противостояние давлению других видов) приводит к выработке специфических форм. Иногда (например, у некоторых жуков-жужелиц) в центральных местообитаниях преобладают малоподвижные особи, а на периферии – с хорошо развитыми крыльями (т.е. способны к освоению новой территории). Отмечались случаи продвижения жуков – вредителей леса с юга на север по лесовозным дорогам. Для того чтобы вы-

жить в условиях сурового климата, они меняют свое местообитание – с коры переходят под кору. Напротив, северные виды насекомых, встречающиеся только в надпочвенном ярусе, в более южных регионах опускаются на подстилку или даже в почвенный ярус (правило смены образа жизни, по М.С. Гилярову).

Проанализировав всю информацию о встречаемости особей вида, выделяют пространственную совокупность местообитаний (по крайним точкам границы распространения вида). Это и будет ареал конкретного вида. В случае выявления слишком большого промежутка (разрыва) между местообитаниями ученые-биогеографы могут объявить об отсутствии целостного ареала и наличии ареала разорванного (пятнистого, дизъюнктивного). Самостоятельно (т.е. пока вы не станете ученым-биогеографом) лучше этого не делать. Кстати, длительное обособление популяции вида в пределах части какого-либо ареала – прямой путь к началу нового видообразования.

Такие примеры встречаются во множестве. У отдельных группировок вида в пределах ареала наблюдаются выраженные поведенческие различия, ведущие к обособлению данных группировок. Ласточки и скворцы, остающиеся в Северной Африке, не понимают своих перелетных соседей, не водят с ними дружбы и чрезвычайно редко (только в условиях сокращения популяции) общаются генами. То же мы наблюдаем и у горной козы – серны. Часть популяции, живущая в Кавказском биосферном заповеднике, в течение всего года остается в лесу и не ходит на скалистые высокогорные участки. Другие же упрямо, из года в год, каждое лето забираются высоко в горы (зимой они вынуждены спускаться в леса,

к своим уже не горным, а лесным собратьям). Так формируются различия во взглядах на жизнь даже в близкоразвивающихся группировках, появляются «мы» и «они», закладываются предпосылки к дивергенции вида.

### **Классификации ареалов**

Ареалы можно разделить по географическим особенностям пространства, ими занимаемым. Так, можно выделить:

- *бассейновые ареалы* (ареалы речных бассейнов, характерные как для пресноводной ихтиофауны, так и для отдельных представителей водной флоры, флоры и фауны прибрежных ландшафтов; сюда же можно отнести и галофитные сообщества солончаков, как особого типа бессточного бассейна);

- *геоморфологические ареалы* (горные, высокогорные, равнинные; пещер; литорали и глубоководных океанических впадин);

- *климатообусловленные ареалы* (прежде всего температурно-инсоляционный режим и режим увлажнения).

Ареалы видов по занимаемой площади могут быть межконтинентальными, континентальными, провинциальными (региональными), локальными (местными).

Ареалы по форме могут быть *точечными*, *целостными* или *разорванными (дизъюнктивными, пятнистыми)*. Точечный ареал наблюдается при относительной малочисленности вида при занятии им большого пространства (например, амурский тигр). Целостный ареал непрерывен в пространстве, хотя может иметь причудливую форму, обусловленную совокупностью географических, биологических и ландшафтно-эдафических барьеров. Дизъюнктивный ареал – следствие распада из-

начально целостного ареала на отдельные участки местообитаний, где вид находит для себя сносные условия существования. Дизъюнктивный ареал формируется при угасании значимости вида в экосистемах и его вытеснении видами конкурентами, или же, напротив, свидетельствует о стремительном расширении вида, захватывающего территории за пределами основного, начального ареала. Разобраться в этом может только палеогеография (было ли присутствие вида на данной территории в прошлые эпохи), но иногда поможет и обычное наблюдение за состоянием популяции вида в конкретном фитоценозе – если мы наблюдаем стадию всходов, молодых побегов отдельного вида – можно говорить об инвазивной популяции и расширении ареала. Но все же, на наш взгляд, необходимо дождаться первых зрелых особей, способных дать семена (потомство), и только тогда (см. определение ареала) включать конкретный участок территории в ареал вида.

Динамика ареалов тесно связана с их формой. Выделяют *первичный ареал* (как правило, занимающий небольшую площадь, имеющий тенденцию к расширению); *стабильный ареал* (ареал вида, полностью реализовавший свой экологический потенциал к захвату территории и остановленный барьерами, которые он не смог преодолеть); *реликтовый ареал* (ареал, занимающий часть площади стабильного ареала, с особо благоприятными условиями, где вид может сохраниться при изменении климатических условий). Реликтовый ареал не следует путать с регрессивными популяциями (т.е. такими популяциями, где присутствуют только зрелые и старческие особи, и вид больше не возобновляется в дан-

ном сообществе). Зачастую реликтовые ареалы существуют очень долго (даже миллионы лет), а виды в подобных ареалах представлены всеми возрастными формами. Такие особые территории получили название убежищ (рефугиумов).

### **Виды-эндемики и викарные виды**

В связи с ограниченным размером земного шара в соответствии с областью распространения того или иного вида их делят на виды космополитные (широко распространенные, со значительной площадью расселения, охватывающей более чем 1 материк, или несколько природных зон) или же виды, распространенные локально. В этом случае говорят о видах-эндемиках, т.е. видах, свойственных данной местности. В какой-то степени эти виды будут яркой визитной карточкой этой местности (как правило, наиболее яркие представители животного и растительного мира попадают даже на монеты и банкноты государств, и в этом отношении представляют собой идеальные сувениры для туристов). Но даже самый космополитный вид является эндемиком планеты Земля.

Итак, вид-эндемик – вид, свойственный только этой местности (акватории). То же самое можно сказать и о таксонах более высокого ранга – родах и семействах.

Эндемизм – характерная для некоторых видов способность распространяться только на определенной территории или акватории при отсутствии в других аналогичных регионах [5].

Виды-эндемики распространены на территориях с выраженной изоляцией – морские удаленные от суши острова, высокие горные вершины, древние озера, пещеры, океанические впадины. Обилие эндемичных видов

(а особенно – родов или даже семейств) указывает на древность флор и фаун (длительный период изоляции, как фактор эволюции). Опять же это правило работает не всегда. Наблюдаются случаи относительно стремительного видообразования, распад одного вида-основателя на несколько, в связи с освоением ресурсов различных свободных экологических ниш. Классический пример – выюрки Дарвина на Галапагосских островах. Менее известный пример – высокое видовое биоразнообразие обитателей в африканском озере Виктория (которое вроде бы 12 тыс. лет назад полностью высохло, и, следовательно, прежние пресноводные виды в нем не могли сохраниться). В случае стремительного процесса видообразования или захвата территории каким-либо видом извне говорят о видах-неоэндемах.

Отдельные виды сохраняются в пределах своего местообитания (или части первичного местообитания) на протяжении миллионов и даже десятков миллионов лет. Гинкго двулопастной (юго-восточный Китай), секвойя гигантская (мамонтово дерево) (г. Сьерра-Невада, Калифорния), вельвичия удивительная (пустыня Намиб) – древние голосеменные растения, возраст индивидуальных особей достигает 2000–3500 лет – и сейчас произрастают на части своего ареала с мелового периода мезозойской эры.

Наряду с видами-эндемиками существуют викарирующие виды.

Чтобы лучше разобраться в проблеме викарианса, надо вспомнить основные географические свойства жизни и ввести понятия об автохтонных и аллохтонных видах, а также об инвазии (инвазивных видах).

*Географические свойства жизни (по В.Г. Мордковичу [8], в сокращенном авторском пересказе)*

1. Свойство локализации – поиск места под солнцем, обретение своего местообитания, формирование понятия родины. Каждый вид (популяция) яростно борется за свое местообитание против всякого пришельца извне.

2. Свойство экспансии – стремление вида (популяции) расширить пределы своего первоначального местообитания. Явление «давления жизни». Методом пассивного или активного расселения вид (популяция) распространяется и осваивает дополнительную территорию, которую новое поколение будет считать своей (т.е. будет считать исконной родиной).

3. Свойство колонизации – освоение и возделывание под себя участка пространства, на котором вид (популяция) вчера еще была пришлым гостем. Колонизацию описывают для видов, занимающих свободные экологические ниши или свободные пространства. Бывает, что при колонизации для более полного освоения ресурсов конкретного пространства первоначальный вид распадается на отдельные дочерние виды (вид-основатель, виды-потомки). Если же все экологические ниши заняты, и вторгающийся пришлый (аллохтонный) вид занимает место с вытеснением из данной экологической ниши другого вида-обитателя, то колонизация превращается в оккупацию.

4. Свойство оккупации – в условиях отсутствия свободного жизненного пространства колонизация превращается в оккупацию, т.е. в захват кем-то уже занятых территорий. Иногда, чтобы вытеснить какой-либо местный (автохтонный) вид, аллохтонный вид может вступить в коалицию с другим местным видом, образуя с ним симбиотические связи.



5. Свойство конгруэнции – рост числа биологических видов и возможности их размещения в пространстве ограничены площадью земной поверхности (510 млн км<sup>2</sup>). Можно, конечно, забраться чуть-чуть ниже (почва, фотический слой воды и дно океанов, отдельные пещеры) или чуть выше – уйти в горы или на стволы и кроны деревьев. Но все возможные экологические ниши жизнь уже нашла и захватила. Чтобы существовать в этом мире, виды вынуждены жить по системе – «ты мне – я тебе»; и учитывать биологические интересы других видов. Отношения «опылитель–опыляемый», «хищник–жертва» – тому свидетельство. Таким образом, конгруэнция – это сожительство на общей территории; проявляется в наложении контуров ареалов.

6. Свойство коммунальности – в сожительстве нет ничего плохого, если оно идет не через зубы; в этом случае сожительство заканчивается любовью, т.е. высокой слаженностью и экологической «притертостью» видов друг к другу, или, по-научному, коадаптивной композицией биологических видов. Высокая продуктивность такого союза позволяет полнее использовать ресурсы территории и побеждать как в эволюционной борьбе, так и в борьбе за место на нашей планете. Свойство коммунальности проявляется в образовании устойчивых экосистем (биогеоценозов).

Теперь вернемся к понятию викарианса. Викарирующие виды – это виды-заместители первоначальных обитателей (или отдалившихся потомков вида-основателя). В какой-то степени викарирующий вид – противоположность виду-эндемику, т.е. подобные виды могут встречаться в аналогичных (например, степь–прерия–пампа), но территориально разобщенных ландшафтах. Может быть несколько другая картина: близко-

родственные виды (например, слон африканский и слон индийский) могут жить в разных экологических условиях (саванны и полупустыни Африки и джунгли Индии).

Викарирующий вид – близкородственные виды растений и животных географически или экологически замещающих друг друга; возникли в результате изоляции отдельных районов первичного ареала [5].

Викаризм – это замещение одних видов другими, образовавшимися от одного корня, т.е. родственными, но развивающимися самостоятельно в различных экологических условиях. Викариат отражает процесс дивергентной микроэволюции, когда обособление нового вида является следствием адаптации организмов к новым условиям, отличным от тех, где обитал породивший их вид [9].

Викарирующий (замещающий) вид имеет свою пару (или даже несколько видов) изначально родственных ему (генетический викариат) или замещающих данный вид в сходных экосистемах. В безлесных биомах викарирующими будут разные виды антилоп (экологический викариат). Генетический и экологический викариат причудливо переплетены (так все африканские и азиатские антилопы (африканские газели, джейран, дзерен, сайгак) – представители семейства полорогих, а олени Европы и Северной Америки, а также лоси – представители семейства оленевых). Все вместе они относятся к одному отряду парнокопытных; проживают в безлесных и лесных биомах тропиков и умеренных широт. Зубр и бизон, любимые виды для примера викариата, замещающие друг друга взаимно в лесах Европы, Кавказа и прериях Северной Америки, по сути, являются одним биологическим видом, дающим плодовитое потомство.

## Границы ареала

Существование ареала любого вида (реликтового или фонового, эндемичного или викарирующего) происходит в земном пространстве, в котором вид занимает определенную протяженность пространства (площадь, объем). Границы пространственной конфигурации ареала непостоянны (подвижны) и зависят как от биологической активности вида к проникновению, так и от внешних препятствий к расселению. Обычно описывают границы ареала, определяемые: географическими факторами, ландшафтно-экологическими и биологическими факторами. Географические факторы – это свойства физико-географического пространства (суша и море; климат и почвы), элементы строения земной поверхности (рельеф), особенности сред обитания. Ландшафтно-экологические факторы определяют внутреннюю структуру ареала: сгущения, разрежения; зависят от местных условий инсоляции, температуры и увлажнения. Вид образует более плотные популяции, где условия для него наиболее благоприятны, или куда он вынужден отступить (может сохраниться какое-то время) под натиском другого вида или человеческой деятельности. Биологические факторы – это конкурентные отношения между различными биологическими видами в сообществах. Вид устойчив в сообществе или сам по себе, или только в содружестве с другими видами. Следует обратить внимание, что для разных видов разные типы границ будут критичными. Например, не совокупность всех климатических условий, а суровость зим или неравномерное распределение осадков в течение года. Критический барьер почвенного критерия –

засоленность. Препятствием для роющих и норных животных станет скальный грунт и т.п.

В настоящее время главный нарушитель границ ареалов – хозяйственная деятельность человека. Техногенез вызывает прямое уничтожение ареалов видов и сообществ или значительное изменение их площади, конфигурации и границ (а также и структуры самого сообщества (экосистемы) в связи с вторжением интродуцированных, рудеральных и синантропных видов).

По И.А. Жиркову [3], можно выделить несколько частей ареала с различной плотностью вида:

- основа ареала – вид регулярно присутствует и размножается, скорость размножения вида компенсирует его естественную убыль;

- область встреч – вид регулярно присутствует, но никогда не размножается;

- области нестерильного и стерильного выселения – места эпизодических встреч; окраина ареала, где вид еще способен / уже не способен размножаться. *Начиная от границ стерильного выселения, следует проводить границу ареала (прим. автора);*

- область эпизодических встреч высокоподвижных видов;

- область выноса остатков – вынос останков особей в те места, где вид никогда не жил (чаще всего определяется для морских видов, останки которых опускаются на дно, в иные экологические обстановки).

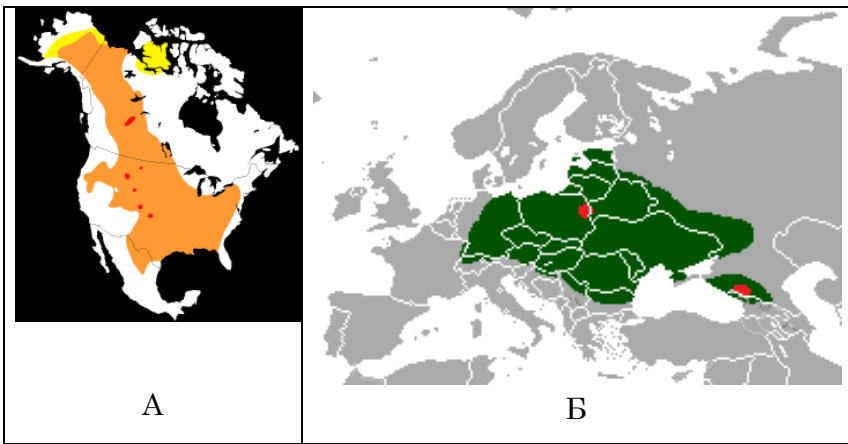
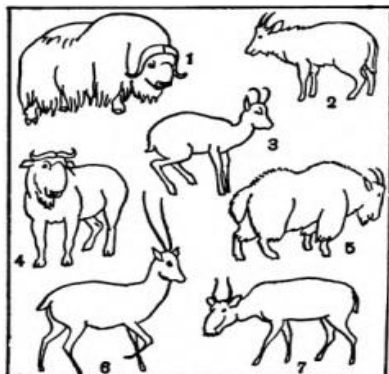


Рис. 1 Арал бизона (А) и зубра (Б) (в историческое время; малый точечный арал – современное распространение)  
(взято из открытых источников)



Парнокопытные:

- 1 – овцебык (*Ovibos moschatus*)
- 2 – горал (*Nemorhaedus goral*)
- 3 – серна (*Rupicapra rupicapra*)
- 4 – такин (*Budorcas taxicolor*)
- 5 – снежная коза (*Oreamnos americanus*)
- 6 – оронго (*Pantholops hodgsoni*)
- 7 – сайга (*Saiga tatarica*)



Рис. 2. Представители семейства полорогих – местообитание:

1 – Овцебык (канадская тундра); 2 – Горал (горы Сихотэ-Алинь); 3 – Серна (Альпы, Кавказ); 4 – Такин (Восточные Гималаи); 5 – Снежная коза (горы Ирана); 6 – Оронго (высокогорные степи Тибета); 7 – Сайга (степи Евразии).

(Рисунок из «Жизнь животных» в 6 т.; под ред проф.

Н.А. Гладкова. – Москва: Просвещение, 1970)

## **Часть 2. Биоразнообразие. Методы оценки биоразнообразия**

Разнообразие жизни всегда (еще со времен античности) привлекало к себе ученых, философов и богословов. Разнообразие жизни на Земле было настолько огромно, что человек не только обнаруживал и описывал реально существующие виды растений или животных, но и часто их выдумывал (чаще чудовищ, в том числе и множество разновидностей дикого человека далеких земель – чего стоят хотя бы псоглавцы). Из предмета игры ума или удивления премудростью Создателя или Природы со временем вышла, безусловно, неполная, но в какой-то мере отражающая реальную картину инвентарная книга – кто и где живет; в отдельных случаях даже упоминалось и как именно живет. Сперва эта «книга» (а точнее – знание) была полезна для охоты, интродукции и земледелия. Внезапно пришло осознание, что именно связи – *кто и с кем живет или может жить* – есть важнейшее знание современности, позволяющее выжить (или не выжить) самому человеку, превратившемуся к настоящему времени из обычного биологического вида с повадками хищника в биосферного сверхпаразита. Осознав свою новую паразитарно-биосферную роль, человечество всеми силами старается быть примерным паразитом и умерить неумность аппетита хищника. Ведь главная цель любого паразита – сохранить своего конечного хозяина (в нашем случае – биосферу).

«...биологическое разнообразие планеты необратимо утрачивается со скоростью, вызывающей тревогу, в ре-

зультате крупномасштабной деятельности по сведению и выжиганию лесов; хищнических масштабов заготовки растений; не избирательного применения пестицидов и других стойких ядохимикатов; осушения и засыпки болот; уничтожения коралловых рифов и мангровых зарослей; применения хищнических методов рыболовства; изменения климата; загрязнения воды; превращения нетронутых природных зон в сельскохозяйственные угодья и городские массивы...» [7]. Генеральный директор Программы ООН по окружающей среде К. Топфер заявил, что после 2000 г. на планете ежегодно исчезает около 60 тыс. биологических видов, и это число неуклонно растет [7].

Сохранить природу – значит выжить самим. Биогеография более других наук служит благородной цели сохранения природы. Данная наука изучает пространственное распределение видов, отсюда ведущая роль биогеографии в инвентаризации растительного и животного мира, флоры и фауны как планеты в целом, так и конкретного региона или отдельной местности. Значит, именно биогеография изучает важнейший показатель биосферы – разнообразие. Проводимая инвентаризация позволяет оценить экологическую роль видов; выявить редкие виды или виды, находящиеся под угрозой исчезновения, что лежит в основе составления Красной книги. Выявляя местообитания редких или, напротив, типичных видов, биогеография предлагает теоретическое обоснование охраны этих территорий, т.е. организации заповедников, национальных парков и иных категорий ООПТ.



Понятие «биоразнообразии» вошло в широкий оборот только после Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972 г.). Самые умные представители человечества наконец-то увидели себя в истинном свете – как биосферного сверхпаразита. Согласно Конвенции о биологическом разнообразии у этого понятия есть официальное международное определение: *«Биологическое разнообразие» означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая наземные, морские и другие водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и экосистемами.*

**Биоразнообразие – разнообразие живых организмов на какую-либо единицу объема и площади (выдел или целостную экосистему), рассчитанное на основании инвентаризации как числа видов, так и численности (биомассы) каждого из них.**

Биоразнообразие – это важнейший критерий полноты связей в сообществе, насыщенности жизнью той или иной территории или акватории, в т.ч. и степени угнетения экосистемы или ее неполноты. Биоразнообразие – это показатель обилия видов и их численности, сходства видов в различных сообществах, показатель плотности населения сообщества. Биоразнообразие – одна из характеристик устойчивости геосистемы, а также своеобразная иммунная система человечества.

Последнюю мысль следует пояснить. Обилие и полнота видов в сообществе, баланс внутренней энергии и численности организмов ее перераспределяющих – своеобразный гироскоп сообщества, с которым она способна

противиться внешним возмущениям и противостоять воздействию извне. Даже в случае выпадения отдельных видов само сообщество не разрушится, а только немного поменяет структуру. В период современного экологического кризиса мы наблюдаем повсеместное упрощение сообществ по вине человека и массовое выпадение видов-эпифитов и доминант из состава различных сообществ. Многочисленные виды так называемой параллельной эволюции (паразитарные виды, патогенные микроорганизмы и вирусы), привязанные к конкретному виду, не хотят умирать и ищут себе нового хозяина. И некоторые находят... Как пример – распространение новых, ранее неизвестных человеку заболеваний, принимающих характер эпидемий и даже пандемий. Устоит ли человечество перед этим натиском? Натиском, происходящим по вине самого человечества...

«В основе биоразнообразия лежит видовое разнообразие. Оно включает миллионы видов животных, растений, микроорганизмов, живущих на нашей планете. Однако биоразнообразие охватывает и всю совокупность природных экосистем, которые слагаются этими видами. Таким образом, под биоразнообразием следует понимать разнообразие организмов и их природных сочетаний. На основе биоразнообразия создается структурная и функциональная организация биосферы и составляющих ее экосистем, которая определяет их стабильность и устойчивость к внешним воздействиям» [7].

Существует три основных типа биоразнообразия:

- генетическое, отражающее внутривидовое разнообразие и обусловленное изменчивостью особей;

- видовое, отражающее разнообразие живых организмов (растений, животных, грибов и микроорганизмов);
- разнообразие экосистем, охватывающее различия между типами экосистем, средами обитания и экологическими процессами. Разнообразие экосистем отмечается не только по структурным и функциональным составляющим, но и по масштабу – от биоценоза до биосферы.

Все типы биологического разнообразия взаимосвязаны: генетическое разнообразие обеспечивает разнообразие видов; разнообразие экосистем и ландшафтов создает условия для образования новых видов; повышение видового разнообразия увеличивает общий генетический потенциал живых организмов биосферы. Каждый вид вносит свой вклад в разнообразие, и с этой точки зрения *не существует бесполезных или вредных видов*.

Анализируя вышеизложенное, обобщим. Первое – биоразнообразие (а еще точнее – его различные аспекты в реальных биогеоценозах или ландшафтах) – важнейший показатель состояния экосистем различных иерархических рангов, напрямую завязанный с генофондом живого вещества планеты Земля и возможностью существования самой биосферы и человеческого общества. Второе – это очень сложная для описания и оценки характеристика любой экосистемы (биогеоценоза, ландшафта, биома).

«Биоразнообразие – очень непростая переменная для статистической обработки» [1].

В пределах одного и того же ландшафта проживают множество разных видов (едва коснемся таксономического разнообразия: позвоночные, членистоногие, высшие растения, низшие растения, грибы и т.д.). В пределах со-

общества приходится оценивать как биоразнообразие групп, жизненных форм (например, биоразнообразие насекомых или птиц или ящериц), так и выравненность группировки видов (т.е. выяснить, насколько неоднородна в них численность доминирующих и прочих видов).

Видов очень много, велика и скорость их движения (флуктуации). Биоразнообразие зависит от климатических особенностей года, например, тепло и обилие влаги приводят к вспышке численности многих насекомых: отсюда много насекомоядных птиц, а также лягушек и ужей. Особенности ряда влажных/засушливых лет приводят в движение границы ареалов и к изменению численности и видовой структуры сообщества. В конкретных ландшафтах годовая динамика численности в группах просто несопоставима – десятки тысяч и даже миллионы у насекомых; первые сотни особей у птиц и млекопитающих. Есть виды, экологически связанные между собой отношениями питания (продуцент, консумент первого порядка, консумент второго порядка, редуцент) или отношениями биологической синузии (береза–подберезовик и т.д.). Есть виды, эволюция которых в сообществе жестко связана с окружением избранных видов; есть и герои-одиночки с широким экологическим спектром выживания и возможностью пристроиться (ворваться, или совершить инвазию) в значительное число экосистем.

На Земле описано около 1,7 млн видов; предполагается наличие на нашей планете 8–9 млн видов, т.е. еще около 80% видов предстоит открыть. Некоторые ученые считают, что когда все виды будут открыты, их число не превысит 3 млн, т.к. другие, еще не открытые, виды к этому моменту будут вольно или невольно уничтожены человеком.

## Оценка биологического разнообразия

Применяя полевые методы исследования, сообщество изучают при помощи нескольких проб или пробных площадей (в ботанике, гидробиологии, почвенной зоологии). Можно оценить разнообразие каждой пробы, а также мозаичность сообщества; наметить экологические границы различных местообитаний; описать флору и фауну биогеографического района. Суммируя биогеографические сведения уже за письменным столом, можно выделить биогеографические провинции и области (уже во многом совпадающие с границами ландшафтов физико-географических областей и ландшафтных стран, т.к. все более вступают в силу пространственно-географические барьеры). Описание распределения эндемичных родов и семейств позволит уточнить границы наивысшего таксона биогеографического районирования – биогеографических царств. Но не удивляйтесь, что отдельные мигрирующие виды будут злостными нарушителями только что начерченных вами биогеографических границ.

Биологическое разнообразие изучают на различных масштабных уровнях организации биосферы (см. таблицу 1):

Таблица 1

### Уровни видового разнообразия [10]

Инвентаризационное	Дифференцирующее
Точечное разнообразие – разнообразие пробной площади, микроместообитания в пределах сообщества (иногда – видовая насыщенность)	

Окончание табл. 1

Инвентаризационное	Дифференцирующее
	Мозаичное разнообразие (внутреннее бета-разнообразие)
$\alpha$ (альфа) – разнообразие видов внутри сообщества, или в пределах однородного местообитания	
	$\beta$ (бета) – разнообразие между сообществами (местообитаниями); степень дифференцированности распределения видов, степень изменения видового состава по градиентам
$\gamma$ (гамма) – общее разнообразие группы участков альфа-разнообразия, разнообразие видов в пределах надбиогеоценотической единицы (местности, ландшафта, острова)	
	$\Delta$ (дельта) – разнообразие между участками гамма-разнообразия, изменение между географическими территориями (ландшафтов, биомов, провинций и т.д.)
$\epsilon$ (эпсилон) (региональное) – общее разнообразие группы территорий гамма-разнообразия; разнообразие крупной географической территории (континенты, страны)	
$\omega$ (омега) – разнообразие Земли, понимаемое как набор всех биомов	

Для нашей цели (лучшего усвоения студентами темы «Биоразнообразие», и в дальнейшем руководстве ими полевой и камеральной учебно-исследовательской рабо-

ты школьников) мы более подробно остановимся на альфа- и бета- разнообразии.

Гамма-разнообразие удобнее изучать на основе парадигмы ландшафта, остальные виды разнообразия – в курсах «Физическая география России» и «Физическая география материков и океанов». Дельта-, эпсилон- и омега-разнообразие целесообразно рассматривать как единицы районирования ландшафтов и биогеографических районов в курсах «Ландшафтоведение», «Учение о биосфере», «Охрана природы». Достаточно неожиданный и интересный взгляд на биогеографию, как в первую очередь биологическую, а не географическую дисциплину, приводится в работе И.А. Жиркова [3].

### **2.1. Альфа-разнообразие** (по [1; 6] в сокращении)

#### **Показатели интегральной оценки альфа-разнообразия**

Наиболее очевидный показатель видового разнообразия и один из важнейших признаков сообщества – это видовое богатство (*species richness*), под которым обычно понимается число видов ( $S$  – от *species*). Однако исследователь имеет дело с выборкой, не располагая полным списком видов. Поэтому нередко используется *видовая плотность* – число видов на единицу площади или объема (например, на 1 м<sup>2</sup>, или на 100 м<sup>3</sup>) и *нумерическое видовое богатство* – число видов на определенное число особей. В некоторых исследованиях видовое богатство биотопа определяется путем взятия нескольких проб. Например, несколько пробных площадей для изучения флоры луга, несколько кубов почвы для изучения почвенной мезо- и микрофауны. Видовое богатство одной

пробы называется видовой насыщенностью. Она характеризует точечное разнообразие. Некоторые индексы видового богатства основаны на соотношении числа выявленных видов (S) и общего числа особей всех видов (N):

**индекс видового богатства Маргалефа:**

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N} ;$$

**индекс видового богатства Менхиника:**

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} .$$

Выявленное число видов зависит от количества изученных особей, количества учетных единиц, площади и продолжительности исследования. Очевидна лишь нижняя временная граница для исследования сообществ: оно должно учитывать весь спектр сезонных изменений, т.е. проводиться в течение года или безморозного периода.

Однако видовое богатство (*species richness*) представляет собой только один аспект видового разнообразия (*species diversity*). Например, имеются две выборки: в каждой по 100 особей, относящихся к 10 видам. В первой выборке каждый вид представлен 10 особями, во второй выборке один вид представлен 80 особями, остальные девять видов – по одному–трем экземплярам. Какое сообщество разнообразнее? Вопрос неоднозначный, но считается, что первое (хотя однородное распределение видов в природе никогда не встречается – всегда есть и будут виды доминирующие и редкие). Помимо видового богатства видовое разнообразие определяется выравненностью (*evenness*) – равновозможностью (*equitability*), с которой особи распределены по видам. Формально выравненность можно определить как отношение наблюдаемого разнообразия к максимальному при данном числе осо-



бей и числе видов. Выравненность можно вычислить с использованием меры доминирования (концентрации). Чем больше мера доминирования, тем меньше выравненность и, соответственно, видовое разнообразие. Поэтому в качестве показателей разнообразия обычно используют величины, обратные мерам доминирования. Для их расчета могут использоваться данные, выраженные не в числе особей, а в иных показателях (уловистость, масса, проективное покрытие и т.д.).

Простейшая мера доминирования – **индекс Бергера–Паркера**. Он выражает относительную значимость наиболее обильного вида:

$$d = \frac{N_{max}}{N},$$

где  $N_{max}$  – число особей самого обильного вида;  $N$  – общая численность группировки.

*Примечание:* как показатель разнообразия может использоваться величина, обратная индексу Бергера–Паркера  $1/d$ .

Лучшим среди индексов доминирования считается **индекс Симпсона**.

Данный индекс описывает вероятность принадлежности любых двух особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества, к разным видам формулой:

$$D = \sum p_i^2,$$

где  $p_i$  – доля особей  $i$ -го вида.

Для расчета индекса Симпсона используется формула, соответствующая конечному сообществу:

$$D = \sum \left( \frac{n_i (n_i - 1)}{N(N-1)} \right),$$

где  $n_i$  – число особей  $i$ -го вида,  $N$  – общее число особей.

По мере увеличения  $D$  разнообразие уменьшается. Поэтому индекс Симпсона часто используют в форме  $(1 - D)$ . Эта величина носит название «вероятность межвидовых встреч» и находится в пределах от 0 до 1.

Наиболее универсальным (и частым в применении) индексом видового разнообразия, в котором учитывается одновременно видовое богатство и выравненность, считается индекс Шеннона.

Расчеты этого индекса предполагают, что особи попадают в выборку случайно из «неопределенно большой» генеральной совокупности, причем в выборке представлены все виды генеральной совокупности (группировки).

**Индекс Шеннона** рассчитывается по формуле:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i ,$$

где величина  $p_i$  – доля особей  $i$ -го вида, т.е.  $p_i = \frac{n_i}{N}$ , (переменные аналогичны представленным в индексе Симпсона).

При расчете индекса Шеннона можно также применять и другие основания логарифма (двоичный, десятичный).

Индекс Шеннона обычно варьирует от 1,5 до 3,5; очень редко превышает 4,5. Чем выше значения индекса Шеннона, тем выше разнообразие.

Анализ применяемых индексов разнообразия показал, что все они коррелируют между собой. «Слабая работанность общей теории мер разнообразия и методологии их практического применения затрудняет обоснованный выбор показателя для измерения разнообразия исследуемых систем, в т.ч. экологических сообществ. Поэтому исследователи изучают любой из них, следуя личной симпатии или традиции, установившейся в работе коллег» [6].

Интересным представляется графический анализ данных биоразнообразия, позволяющим представить общую схему распределения соотношения «численность видов – численность особей».

Наиболее простой из графиков – график частотного распределения. Он устанавливает зависимость между числом особей каждого вида и числом видов (ось абсцисс – число особей; ось ординат – число видов) (рис. 3).

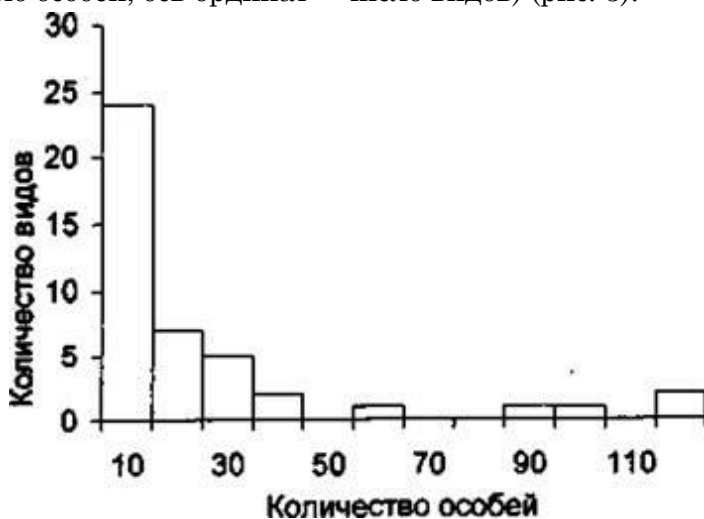


Рис. 3. Графический анализ  $\alpha$ -разнообразия. Зависимость между количеством особей каждого вида и количеством видов [6]

## ***2.2. Бета-разнообразии и сходство сообществ***

При сравнении двух или нескольких сообществ возникает задача оценить различия в их видовом составе. Предложено несколько показателей бета-разнообразия: чаще всего используются мера Уиттекера, демонстрирующая общий подход к сравнению двух различных группировок видов, а также индексы Жаккара и Серенсена-Чекановского.

**Мера Уиттекера** рассчитывается по формуле:

$$I_w = \frac{S \cdot m}{a_m} - 1,$$

где  $S$  – общее число видов, зарегистрированных после  $m$  измерений;  $a_m$  – среднее число видов в одном измерении.

Значения меры  $\beta$ -разнообразия Уиттекера могут изменяться от 0 до бесконечности и иметь тем большую величину, чем разнообразнее представлены различные сообщества вдоль градиента. Особенно интересно проследить показатель Уиттекера между соседними (близкими или граничащими) сообществами.

### **Индексы общности сообществ**

Оценка сходства и различия между объектами – важная задача для сравнения сообществ двух (или большего числа) пространственно разделенных местобитаний. Используемые для этого численные показатели именуются коэффициентами сходства или индексами общности. Индексы общности обычно имеют значения от 0 до 1.

**Индекс Жаккара** – это отношение числа общих видов для двух списков к общему числу видов (числу видов в объединенном списке):

$$I_j = \frac{a}{a + b + c},$$

где  $a$  – число общих видов для двух списков,  $b$  – число видов, имеющих только в первом списке (сообществе),  $c$  – число видов, имеющих только во втором списке (сообществе).

В случае, если сравниваемые сообщества не имеют общих видов ( $a = 0$ ), индекс Жаккара будет равен 0. Если все виды из 1 сообщества встречаются во 2 сообществе, индекс Жаккара будет равен 1 ( $a/a = 1$ ). Условия изоля-

ции между двумя сообществами нарастают при приближении индекса Жаккара от 0,5 к 0, и ослабевают при приближении индекса от 0,5 к 1.

**Индекс Серенсена–Чекановского** определяется как отношение числа общих видов к среднему арифметическому числу видов в двух списках:

$$I_{Cs} = \frac{2a}{(a+b)+(a+c)},$$

где  $a$  – число общих видов для двух списков,  $a+b$  – число видов в первом списке (сообществе),  $a+c$  – число видов во втором списке (сообществе).

Наиболее простым для расчетов, наряду с индексами Жаккара и Серенсена–Чекановского, является **индекс Кульчинского (К2)**, где число общих видов соотносится с числом необщих видов (переменные  $a, b, c$  – аналогично приведенным в формуле индекс Жаккара):

$$I_{k2} = \frac{a}{b+c}.$$

Для систематизации сходства множества сообществ строят матрицу сходства (табл. 2), числа которой представляют собой значения сходства двух отдельно взятых сообществ (например, индекс Жаккара).

Таблица 2

**Матрица сходства сообществ птиц на 5 островах**

	А	Б	В	Г	Д
А	–	0,8	0,2	0,4	0,5
Б		–	0,3	0,55	0,45
В			–	0,85	0,15
Г				–	0,9
Д					–

*Примечание:* поскольку половина таблицы будет представлять собой зеркальное отображение, ее можно не заполнять.

Для анализа матриц сходства (табл. 2) можно использовать метод «неориентированных графов», в которых линии, соединяющие вершины графа, не имеют направления.

Одним из видов графического анализа сходства выборок может быть построение плеяд Терентьева (рис. 4). Анализ графика позволяет выявить закономерности в распределении видов в сообществах, вызванные параметрами удаленности или наличием соответствующих экологических ниш.

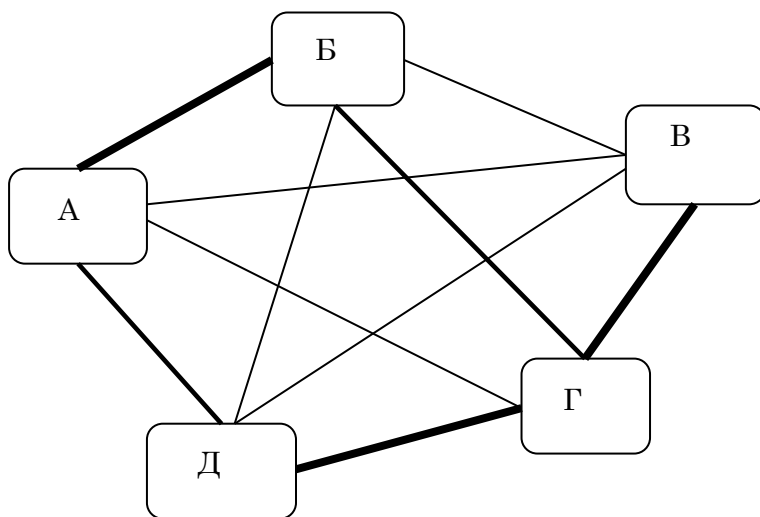


Рис. 4. Графический анализ бета-разнообразия. Плеяды Терентьева, построенные на основе матрицы сходства выборок, по заданным величинам индекса сходства (чем толще линия, тем выше сходство): 1 – сильное сходство (0,7–0,99); 2 – среднее сходство (0,5–0,69); 3 – слабое сходство (менее 0,5)

По сути, плеяды Терентьева представляют собой аналог кластерного анализа. Кластерный анализ – один из методов многомерного анализа, сущность которого со-

стоит в иерархической классификации объектов в разделении множества объектов на однородные группы. Графически иерархическая классификация отображается в виде дендрограммы, но может быть представлена и в виде плеяд Терентьева по заданным уровням сходства (например, 0,8; 0,5; 0,2. Вычерчиваются 3 графика-плеяды, на которые наносятся связи с уровнем 0,8 и выше; 0,5 и выше; 0,2 и выше). При небольшом количестве выборок (примерно до 8–10) плеяды могут отразить уровень иерархии объектов даже нагляднее, чем дендрограммы, т.к. при построении дендрограмм могут применяться три метода построения (метод ближнего соседа, метод дальнего соседа и метод среднего присоединения), при которых внешний вид дендрограммы существенно изменяется.

### **Часть 3. Биогеографические исследования с обучаемыми**

Не останавливаясь на вопросах обеспечения безопасности детей в походах и экскурсиях на природу, сразу перейдем к постановке школьной учебно-исследовательской работы по биогеографии.

В значительной мере это работа по биологии, потому что придется изучать систематику местных растительных и животных видов; их внешнего облика в период различных фенофаз и времен года; а значит, придется запастись определителями растений и животных.

Наиболее легкая для детей работа по биогеографии – фенологические наблюдения – сроки цветения или появление листьев растений различных видов; сроки прилета-отлета отдельных видов птиц и т.п.

Работа с вычислением элементов альфа- и бета-разнообразия с детьми наиболее эффективна и безопасна по результатам наблюдений за группировками птиц.

Для наиболее полного учета видов важно помнить о времени исследования: есть виды, наиболее активные в утренние, дневные, вечерние или ночные часы.

Необходимо помнить, что не нужно близко приближаться к гнездам, чтобы не спугнуть гнездящиеся виды и не привести к гибели их потомства (родители могут бросить обнаруженное гнездо, или за вашими действиями может наблюдать хищник, который, когда вы уйдете, разорит гнездо).

Исследования должны отвечать критерию сопоставимости, а значит, надо проводить учеты на каком-то



масштабном отрезке – на маршруте одинаковой протяженности; одинаковом отрезке времени, в которое проводятся наблюдения в различных местообитаниях. Для выявления редких видов возможна организация кормушек для птиц с различным кормом (с удаленным фотографированием птиц, посещающих кормушку).

Дальнейший рассказ об организации учета видов и их численности будет касаться не только видов класса Птицы, но и других (прежде всего видов животных). Ведь школьникам по силам проводить и изучение насекомых в различных местообитаниях (лес, луг, водоем, степь) и изучение фито- и зоопланктона, а также мелких почвенных организмов в объемных пробах.

*Примечание:* объемные пробы – число кошений сачком; объем почвенной или водной пробы.

При организации работы в поле для изучения различных группировок, составляющих сообщество, важно определиться, что именно мы хотим изучать. Это предполагает несколько требований:

1. Определение границ сообщества в пространстве.
2. Выбор адекватного метода учета группировки видов.
3. Оценка показателя значимости видов в сообществе (в т.ч. миграционного статуса).

Показатели значимости видов в сообществе могут выражать:

- численное обилие;
- биомассу;
- активность или вклад вида в функционирование сообщества.

Биомассу рассчитать достаточно сложно (приходится оперировать средними данными из справочников; но в то же время для объемных проб, содержащих большую численность особей, например, планктона, общая биомасса – весьма точный показатель развития сообщества в конкретную фенологическую фазу. В других случаях, при небольших выборках, биомасса может сильно варьировать за счет случайного отлова крупных особей). Численное обилие отражает не только параметр численности, но и в какой-то мере активность видов; для многих видов исследований предпочтительно работать именно с параметром численности.

Численность может выражаться в разных показателях:

- число учтенных особей в выборке;
- плотность – число особей на единицу площади или объема;
- число особей, нормированное на определенную учетную единицу.

Последний показатель определяется как динамическая плотность – число особей, пересекающих в единицу времени линию определенной длины – или уловистость – количество особей животных, попадающих в орудие лова за единицу времени. Естественно, динамическая плотность зависит не только от плотности, но и от активности животных, которая определяется биологическими особенностями организма (вид, пол, возраст) и условиями среды (температура, влажность, кормовая база). Эти сведения можно считать достаточными для сравнения населения видов в разных биотопах и изучения суточного и сезонного хода. Уловистость обычно из-

меряется в числе особей на определенное число учетных единиц (10 или 100 ловушко-суток, 100 м канавы, 5 км маршрута, 181 экз. на 100 взмахов сачком). Правильная организация исследования предполагает одинаковое число учетных единиц во всех вариантах (например, 30 ловушек в течение 180 дней, или 5 площадок по 1 м<sup>2</sup> или 100 м<sup>2</sup> каждая).

Многие методы измерения разнообразия работают только с данными, выраженными целыми числами (181 экз. насекомых на 100 взмахов сачком дадут 1,81 экземпляра/взмах). Поэтому для описания сообществ лучше использовать число особей (обязательно описывая методику исследования). Оценка миграционного статуса видов прямо связана с оценкой их вклада, поскольку не все встреченные виды суть полноправные члены сообщества. Связь вида с местообитанием может быть более или менее тесной: одни виды проводят весь жизненный цикл в данном местообитании, другие здесь только зимуют или питаются в течение ограниченного срока, третьи попадают случайно. Разумеется, резидентные (осёдлые) виды говорят о структуре сообщества больше, чем мигранты или спорадические виды. Соответственно, для каждого вида можно выделить жилые и проходные (транзитные) биотопы (станции). Миграционный статус вида можно оценить по полноте демографического спектра: резидентами следует признавать виды, представленные в данном местообитании всеми возрастными и половыми группами, с закономерной сезонной сменой.

Для описания видов птиц, знакомства с их повадками, биологией и распространением по территории Челябинской области автор настоятельно рекомендует использовать книги [4; 11].

## Примерное содержание дневника наблюдений за птицами

**1. Описание местообитания птиц, по которому проложен учетный маршрут.** Помимо длины маршрута по относительно однородному местообитанию (обычно 3–6 км), должны быть приведены сведения о растительном покрове для типичной 1 или 2 площадок со сторонами 20 на 20 м (для леса) или 10 на 10 м (для луга или степи). Для лесных участков в первую очередь должно обращать внимание на состав древостоя, сомкнутость крон деревьев, высоту деревьев, наличие и высоту подлеска и кустарников, наличие деревьев с дуплами. В степной зоне в первую очередь идет описание рельефа (холмы, овраги, западины) и грунта (есть ли выход каменистых, глинистых, открытых грунтов); затем следует описание типичной растительности (особо отмечается наличие лесных колков и иных участков кустарниковой или лесной растительности). В пределах местообитаний не забывайте указывать на антропогенные нарушения.

**2. Определение плотности населения в сообществах птиц** (можно производить по формуле, предложенной Ю.С. Равкиным [цит. по 4]):

Формула Равкина:

$$P = \frac{40A + 10B + 3C}{L},$$

где  $P$  – плотность в особях/км<sup>2</sup>;  $A$  – количество птиц, учтенных на расстоянии 0–25 м от учетчика;  $B$  – количество птиц на расстоянии 26–100 м;  $C$  – количество видов, учтенных на расстоянии 101–300 м;  $L$  – длина маршрута в км.

**3. Подсчет количества видов и их численности в местообитании** (метод прямого наблюдения).

**4. Определение альфа-разнообразия:** расчет индекса видового обилия (например, по Менхинику); видового разнообразия (по Шеннону); индекса выравненности сообщества (по Бергеру–Паркеру или Симпсону).

**5. Определение бета-разнообразия:** расчет индекса общности сообществ (по Жаккару или Серенсену–Чекановскому).

### **Некоторые законы и правила разнообразия**

Когда вы соберете и обсчитаете первичный материал, вас заинтересует динамика сообщества птиц, отражающая состояние биогеоценоза. Ниже перечислены некоторые эмпирические закономерности (правила), которые объясняют различия в разнообразии сообществ. Эти правила проявляются не всегда, но довольно часто; они помогут вам понять, что происходит с сообществом.

**Закон разнообразия Жаккара:** чем выше разнообразие среды, тем выше видовое богатство. Для гидробионтов известен 1-й закон А. Тинемана: чем разнообразнее условия существования в пределах биотопа, тем больше видов в биоценозе. Следует помнить, что максимальное разнообразие наблюдается при среднем уровне пространственной гетерогенности среды, поскольку слишком высокая гетерогенность не дает однородных участков, достаточных для выживания популяций. Стабильность благоприятствует разнообразию.

**Биоценотический принцип А. Тинемана** (правило компенсации Ю.И. Чернова): при ухудшении условий среды число видов уменьшается, зато те немногочислен-

ные виды, которые сохраняются, увеличивают свою численность.

**Экотонный (краевой, опушечный) эффект:** повышенное видовое разнообразие складывается на границе сообществ.

**Гипотеза промежуточного нарушения Джозефа Коннелла:** максимальное разнообразие складывается в условиях промежуточного нарушения. Умеренные нарушения прерывают процесс конкурентного исключения, поэтому высокое видовое разнообразие складывается в состоянии неравновесия. Следовательно, сукцессионные стадии биоценозов зачастую богаче видами на единицу пространства, чем климаксовое сообщество. Примеры природных нарушений: деятельность ветра, русловые процессы, лесные пожары, деятельность животных (зоогенный фактор). Примеры антропогенных нарушений: вырубки, пожары, пахота, выпас скота, сенокос, химическое загрязнение.

**Избирательное хищничество** (в широком смысле, как элемент промежуточного нарушения, включая выедание растений фитофагами) сокращая число массовых видов, также повышает биоразнообразие путем большей выравненности сообщества.

Дальше можно и не читать, но когда вы разберетесь с материалом данной книжки (и других еще более умных книжек), когда загордитесь собой и своими умениями и знаниями...

*...Некоторые малоутешительные выводы  
(по Шитиков В.К., Розенберг Г.С. [12])*

1. Оценка биоразнообразия видов в пространстве в значительной мере некорректна, в первую очередь потому, что никак не учитывается морфологическое, функциональное, экологическое сходство/различие между самими видами. Каждый вид представляется как изолированный таксон, информационно равноудаленный от всех остальных.

2. Индексы разнообразия, базирующиеся на лучшей (по некоторым данным) мере энтропии по Шеннону, основываются на экологически сомнительной концепции: в качестве эталона принимается экосистема с равными обилиями всех видов, что не вполне соответствует структуре реальных природных сообществ.

3. Модели разнообразия, основанные на тех или иных аналитических формулах распределения популяционной плотности, остаются лишь интерпретацией весьма частных гипотез их авторов и не могут служить фундаментом для формально строгой методики оценки биоразнообразия.

4. Приходится констатировать, что со времен Р. Уиттекера, заложившего вербальную основу понятий разнообразия для совокупности местообитаний, сколько-нибудь строгих методов количественной оценки бета- или гамма-разнообразия до настоящего времени не разработано.

5. Отсутствуют также общепринятые методические разработки для расчета средней популяционной плотности и списка характерных видов произвольного сообщества организмов, которые должны являться неотъемлемыми «кирпичиками» построения любой количественной концепции биоразнообразия.

#### Часть 4. Примеры расчетов и заданий по ареалогии и биоразнообразию

**Задание 1.** На контурную карту мира нанести ареалы песца, серны, голубой сороки, тапира. Выявить дизъюнктивные ареалы; сделать вывод о возможных причинах разорванности каждого дизъюнктивного ареала.

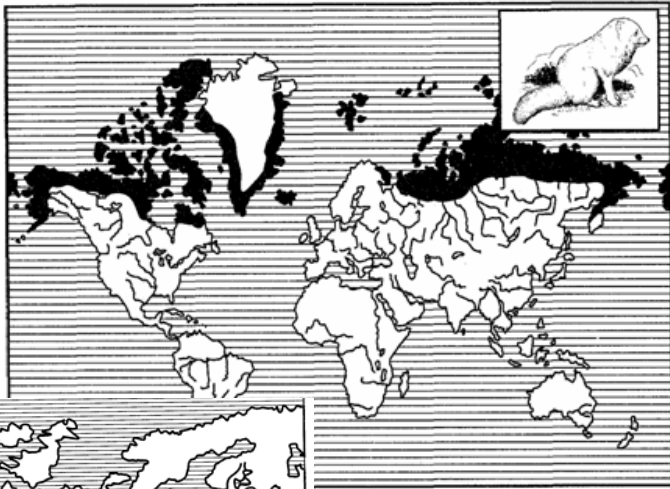


Рис. 5. Ареал песца

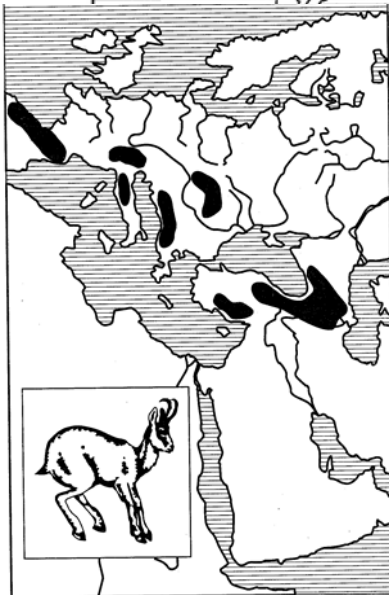


Рис. 6. Ареал серны



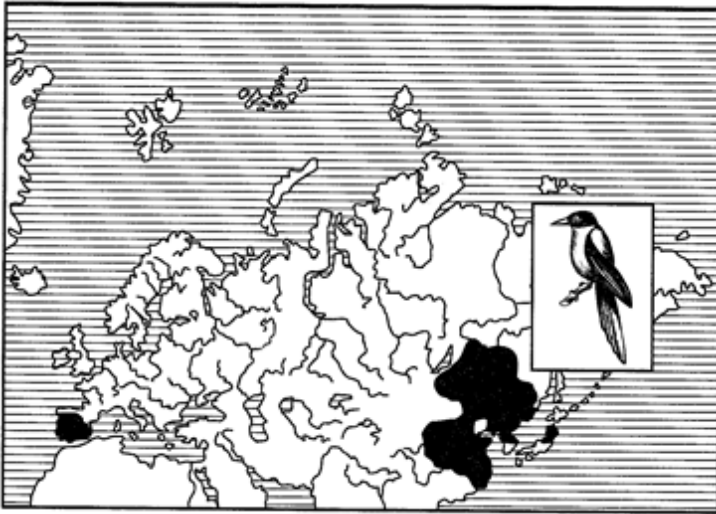


Рис. 7. Ареал голубой сороки

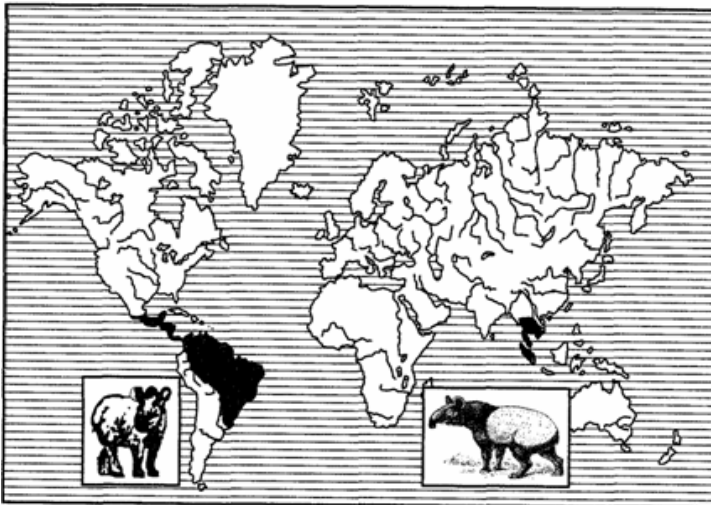


Рис. 8. Ареал тапира

Возможность переноса данных животных человеком не рассматривать. Объяснять произошедшие дизъюнкции ареалов природными событиями, отстоящими от

настоящего времени не более чем на 3 млн лет; т.е. укладываемыми в четвертичный период (плейстоцен и голоцен).

**Задание 2.** Составить ареалограмму (вид графика, на котором по оси абсцисс откладываются месяцы, а по оси ординат – процентное распределение особей по участкам ареала) для популяции серн на территории Кавказского заповедника (табл. 3) (данные взяты из: Дубень А.В. Численность и структура популяции серн во взаимосвязи с некоторыми экологическими факторами // Экологические исследования в Кавказском биосферном заповеднике. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1985)

Таблица 3

**Сезонное распределение поголовья серн**

Месяц	Кол-во встреченных животных (100%)	Местообитания		
		Безлесные пространства (высота более 1900 м), %	Верхний предел леса (высота 1600–1900 м), %	Лесной пояс (высота от 300 м до 1600 м), %
декабрь	49	6	21	73
январь	33	3	6	91
февраль	51	4	7	89
март	54	4	5	91
апрель	133	10	40	50
май	153	8	53	39
июнь	94	16	52	32
июль	135	37	40	23
август	132	61	21	18
сентябрь	133	46	34	20
октябрь	72	35	43	22
ноябрь	189	31	42	27

Всего	1228	26	36	39
-------	------	----	----	----

**Задание 3.** Построить график «количество особей – количество видов» по следующим данным:

Количество видов	Количество особей
36	1–10
12	11–20
8	21–30
5	31–40
2	41–50
0	51–60
1	61–70
0	71–80
0	81–90
2	91–100

**Задание 4.** Используя данные таблицы 4, рассчитать известные вам индексы видового обилия (Менхиника и Маргалефа); индексы, оценивающие выравненность группировки (меру доминирования Бергера–Паркера; индекс Симпсона); индекс биоразнообразия Шеннона; индексы общности сообществ (Жаккара, и Серенсена–Чекановского).

Таблица 4

**Численность видов птиц в различных сообществах**

№ варианта	1		2		3		4	
	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Виды птиц</b>								
Вальдшнеп	4	0	0	0	16	0	0	0
Воробей домовой	0	47	0	0	0	120	0	58
Ворона серая	4	28	5	8	8	14	0	6
Ворон	29	2	0	0	4	0	0	0
Галка	0	19	0	44	0	48	27	5
Глухарь	2	0	0	0	10	0	0	0
Голубь сизый	0	140	0	0	0	202	0	17
Грач	3	6	156	14	0	0	18	0

Окончание табл. 4

№ сообщества	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Виды птиц</b>								
Дрозд-рябинник	12	8	24	5	31	1	2	1
Дятел пестрый	8	1	0	1	6	1	0	1
Желна	1	0	0	0	2	0	0	0
Зяблик	6	1	4	2	5	2	4	1
Коршун черный	2	2	2	4	0	1	0	0
Ласточка городская	8	60	0	20	0	175	0	34
Неясыть длиннохвостая	1	0	0	0	2	0	0	1
Поползень	3	0	1	0	4	0	0	0
Пустельга	1	0	2	1	0	0	1	0
Рябчик	1	0	0	0	2	0	0	0
Синица большая	9	4	32	12	8	0	7	10
Синица московка	4	0	0	2	4	0	0	0
Скворец	0	2	3	4	0	2	4	2
Сорока	5	17	5	6	2	13	0	2
Тетерев	0	0	18	0	2	0	0	0
Трясогузка белая	0	10	2	4	0	8	1	3
<b>Всего особей</b>								
<b>Всего видов</b>								

**Задание 5.** Построить круговую диаграмму основных групп организмов на планете Земля (рекомендуемый диаметр диаграммы – не менее 8 см). На диаграмме одним цветом обозначить сектора насекомых (выделены курсивом).

Позвоночные – 3%; Моллюски – 4%; Ракообразные – 2%; Пауки – 4%; Двукрылые – 7%; Полужесткокрылые – 8%; Чешуекрылые – 9%; Жесткокрылые – 24%; другие насекомые – 9%; другие беспозвоночные – 6%; Высшие растения – 14 %, Водоросли – 2%; Грибы – 4%; Простейшие – 2%; Вирусы и бактерии – 2%.

**Задание 6.** Построить плеяды Терентьева для 6 сообществ (для каждой пары сообществ вычислен индекс Жаккара, табл. 5)

Таблица 5

**Матрица сходства сообществ**

	А	Б	В	Г	Д	Е
А	–	0,86	0,14	0,4	0,3	0,25
Б		–	0,2	0,42	0,15	0,1
В			–	0,75	0,26	0,72
Г				–	0,79	0,2
Д					–	0,35
Е						–

**Задание 7.** На протяжении двух ночей в двух точках парка (А и Б) работали световые ловушки, привлекавшие бабочек (данные частично взяты из: Энос А.Р., Бейли С.Э.Р. *Биология окружающей среды. Проблемы и решения.* – Москва: Колос, 1997).

В ловушках оказались представители 10 видов бабочек. Рассчитайте индексы видового обилия Маргалефа, разнообразия Шеннона; индексы общности сообществ Жаккара и Серенсена–Чекановского (заполнить таблицу).

Площадки	Индекс Маргалефа	Индекс Шеннона
А1		
А2		
Б1		
Б2		

Сравниваемые площадки и интервалы	Индекс Жаккара	Индекс Серенсена
A1 и B1		
A2 и B2		
A1 и A2		
B1 и B2		

Таблица 6

**Виды и численность бабочек, пойманных на площадках А и Б**

Вид	A1	B1	A2	B2
<i>Autographa pulchrina</i>	4	9	4	1
<i>Euplexia lucipara</i>	2	1	0	4
<i>Axylia putris</i>	3	3	3	3
<i>Diarsia mendica</i>	1	1	2	0
<i>Spilosoma luricipeda</i>	0	2	1	0
<i>Hepialus lupulites</i>	0	0	0	2
<i>Oligia strigilis</i>	1	3	0	2
<i>Aramea monoglypha</i>	1	1	1	0
<i>Nymphula stagnata</i>	1	1	0	0
<i>Perizoma alchemillata</i>	2	0	0	0
<b>Число видов</b>				
<b>Число особей</b>				

**Задание 8.** Рассмотреть предложенную схему распределения эндемичных и общих видов в предложенных 4 местообитаниях (рис. 9) и выписать пары сообществ в последовательности нарастания общности сообществ, используя индекс Кульчинского ( $K_2$ ) или индекс Жаккара.

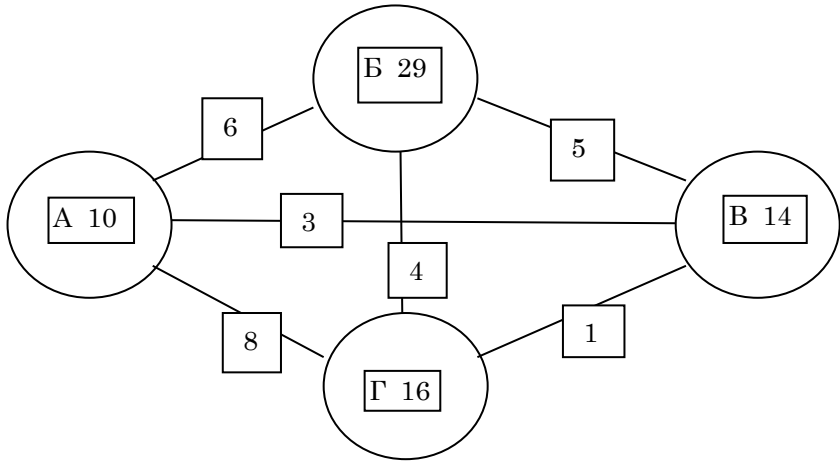


Рис. 9. Общие и эндемичные виды

## Библиографический список

1. Алексанов, В.В. Методы изучения биологического разнообразия / В.В. Алексанов. – URL:<http://koebcu.ru/id-3/id/id.pdf> (дата обращения: 15.10. 2021).
2. Воронов, А.Г. Биogeография с основами экологии / А.Г. Воронов, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволицкий, Е.Г. Мяло. – Москва: Изд-во МГУ, 2002. – 392 с. – ISBN 5-211-04664-1.
3. Жирков, И.А. Био-география общая и частная: суши, моря и континентальных водоемов / И.А. Жирков. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 568 с. – ISBN 978-5-9908941-3-6.
4. Захаров, В.Д. Биоразнообразие населения птиц наземных местообитаний Южного Урала / В.Д. Захаров. – Миасс: ИГЗ УрО РАН, 1998. –158 с. – ISBN 5-7691-0871-1.
5. Котляков, В.М. География: понятия и термины. Пятиязычный академический словарь / В.М. Котляков, А.И. Комарова. – Москва: Наука, 2007. – 859 с. – ISBN 978-5-02-036018-1.
6. Лебедева, Н.В. Биологическое разнообразие / Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволицкий. – Москва: Владос, 2004. – 432 с. – ISBN 5-691-01098-0.
7. Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию, 2021. – URL: <http://www.mkurca.org/temy/bioraznoobraziyel> (дата обращения: 29.10. 2021).
8. Мордкович, В.Г. Основы биогеографии / В.Г. Мордкович. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 236 с. – ISBN 5-87317-189-0.
9. Петров, К.М. Биогеография с основами охраны биосферы / К.М. Петров. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2001. – 376 с. – ISBN 5-288-02695-5.
10. Розенберг, Г.С. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии: учебное пособие / Г.С. Розенберг, Д.П. Мозговой, Д.Б. Гелашвили. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 396 с. – ISBN 5-93424-007-2.



11. Рябинцев, В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: справочник-определитель / В.К. Рябинцев. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2008. – 634 с. – ISBN 978-5-7996-0356-4.
12. Шитиков, В.К. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг. – URL: [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A20/Div\\_bak.htm](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A20/Div_bak.htm) (дата обращения: 31.10 2021).

*Учебное издание*

*Захаров Сергей Геннадьевич*

## **Ареал. Биоразнообразие**

Лекция

ISBN 978-5-907611-05-4

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ  
Протокол № 24 от 2021 г.

Редактор Е.М. Сапегина  
Технический редактор Т.Н. Никитенко

Издательство ЮУрГГПУ  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 20.12.2021. Формат: 60×84 1/16.

Объем 1,67 уч.-изд. л. (3,4 усл. печ. л.)

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ЮУрГГПУ  
454080, Челябинск, пр. Ленина, 69