

УДК 574.9:57.045

**ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК И АРЕАЛОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ВИДОВ****PROBABILISTIC MODELS OF RELATIONSHIPS OF PHYSIOLOGICAL
CHARACTERISTICS AND HABITATS OF SPECIES****А.В. Звягинцева
A.V. Zviagintseva***Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85**Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia**E-mail: zviagintseva@bsu.edu.ru*

Аннотация. Изучено состояние исследований в области комплексной оценки биоразнообразия. Предложено изучение биоразнообразия основывать на применении вероятностных моделей состояния биологических видов, которые бы характеризовали взаимосвязь биологических параметров организмов и условий окружающей среды, а также моделей распространения видов, обобщающих информацию об ареалах видов. Сформулированы принципы построения вероятностных моделей в области биоразнообразия и приведена соответствующая методика обработки данных. Для таксонов мышеобразных, белкообразных и приматов разработаны вероятностные модели взаимосвязи физиологических показателей и ареалов видов. С использованием метода пробит-анализа получены регрессионные зависимости, определяющие связь вероятностей событий, которые характеризуют биологические виды, с показателями и ареалами этих видов. Сделан вывод, что подобные модели могут быть основой для создания моделей биоразнообразия.

Résumé. The state of research in the biodiversity integrated assessment field was studied. There was proposed biodiversity study based on the species biological status probabilistic models development that would characterize the relationship of organisms biological parameters and environmental conditions, as well as the propagation models types, summarizing information on habitats of species. The principles of the probabilistic models construction for biodiversity were formulated and the data processings relevant methods proposed. For taxa Muridae, Sciuromorpha and Primates the relationship probabilistic models of the of biological indicators and habitats of species were developed. Using analysis of samples method there were obtained regression dependencies, defining relations between the probabilities of events that characterize the species, with the indicators and ranges of these species. The conclusion is drawn that such models can be the basis for the creation of biodiversity patterns.

Ключевые слова: вероятностные модели, виды животных, характеристики, показатели и ареалы видов, количественная оценка биоразнообразия.

Key words: probabilistic models, animal species, characteristics, habitats and species indicators, biodiversity quantitative assessment.

Введение

Биоразнообразие представляет собой уникальную особенность живой природы, которая связана с возникновением структурной сложности и многообразия экологических систем. Именно биоразнообразие является основой существования всего живого на нашей планете. Уровень разнообразия как внутри каждого вида, так и в рамках всей биосферы признан в биологии одним из главных показателей жизнеспособности живой природы – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия ставит под угрозу развитие форм жизни на Земле [McIntosh, 1967; Whittaker, 1970; Global ..., 1992; Tilman, Downing 1994, Naeeem et al., 1995; Емельянов, 1999; География ..., 2002; Тишков, 2007].

Оценки биологического разнообразия Земли впервые были предприняты биогеографами, которые в XVIII–XIX веках разработали схемы ботанико-географического и зоогеографического разделения поверхности нашей планеты по степени своеобразия флоры и фауны. В XX веке такие же схемы были составлены не только для флоры и фауны, но и для сообществ растений, животных, биогеоценозов. Ученые отмечают, что всего на нашей планете обитает до 100 млн. видов, однако более реальным числом оценки глобального

биоразнообразие считается 14 миллионов видов [Вымирание ..., 1993; Глобальные ..., 2016; Groombridge, Jenkins, 2000; Энциклопедия, 2008]. В то же время данные о количестве описанных представителей всех пяти основных царств на Земле составляют лишь 1.75 млн. видов, т. е. менее 15%. Эти материалы обобщены WCMC (World Conservation Monitoring Centre, <http://www.unep-wcmc.org/>) – Всемирным центром мониторинга биоразнообразия в Кембридже (Великобритания) и постоянно уточняются [Groombridge, Jenkins, 2000]. Кроме того, на нашей планете идет постоянный процесс появления и вымирания видов, подвидов и форм [Ehrlich, Holm, 1963; Холм, 1966; Leakey, 1996; Groombridge, Jenkins, 2000; Тишков, 2007]. Вымирание – естественный процесс – считается, что более 99% когда-либо существовавших видов вымерли [Leakey, 1996]. Сегодня виды исчезают в 100–1000 раз быстрее, чем до существования человека, и исчезновение видов, находящихся в данный момент под угрозой, может значительно увеличить эти потери [Chapin et al., 1996, 1998]. В свою очередь, ускорение исчезновения видов может оказать негативное влияние на жизнеспособность всей живой природы Земли. Поэтому оценка биоразнообразия имеет большое значение, так как позволяет контролировать сохранение генетического потенциала, дает представление о состоянии экосистем на определенной территории, позволяет изучить тенденции в изменении биоценозов, а также установить факторы, угрожающие биоразнообразию [География ..., 2002].

На сегодняшний день проблема биоразнообразия относится к тем областям научного знания, которые опираются преимущественно на описательные методы. Несмотря на то, что имеется множество самых разных моделей и количественных оценок биоразнообразия, обобщающая теория данного явления отсутствует, а связь существующих моделей биоразнообразия с данными наблюдений пока не достаточна. Развитие биологических наук получило качественный скачок после формирования основ систематики животного и растительного мира – науки о разнообразии биологических организмов, о взаимоотношениях и родственных связях между их различными группами (таксонами). Однако биосистематика дает качественное описание и общую логическую классификацию видов, при этом основополагающие признаки, принятые при классификации, слабо учитывают количественные характеристики видов [Simpson, 1961; Мауг, 1969; Любищев, 1982; Павлинов, 2013].

Целью данной статьи является изучение закономерностей взаимосвязи физиологических показателей и ареалов видов животных, позволяющих на основе оценки событий наблюдения различных показателей разработать вероятностные модели биоразнообразия.

Развитие методологии биоразнообразия с учетом биологической систематики может начаться с создания структурированных баз количественных данных, которые несут информацию об основных показателях видов и характеристиках их распространения в природе, а также об условиях, в которых эти виды существуют. В последнее время подобные базы данных, которые охватывают тысячи видов и десятки показателей и характеристик видов, начинают создаваться и выставляться в открытом доступе (например, [AnAge ...; GBIF ...]). Также уже созданы архивы повторного анализа климатических данных [Archives ...], которые охватывают территорию всей планеты и могут характеризовать условия распространения видов. Объединение биологических и климатических баз данных позволит создать эмпирическую основу для поиска закономерностей и разработки теории биоразнообразия. При этом видны две задачи моделирования, связанные с моделями состояний видов. Первая задача посвящена разработке вероятностных моделей для оценки событий, характеризующих (по совокупности показателей) наблюдаемость конкретных видов среди множества других видов. Вторая задача связана с изучением распространения видов на планете с учетом условий окружающей среды.

Состояние исследований в области оценки биоразнообразия

Первые данные исследований, направленные на оценку биологического разнообразия, были опубликованы еще в начале второй половины XX века. С тех пор количество исследований в этой области значительно увеличилось, много внимания стало уделяться созданию методов изучения и построения моделей биоразнообразия, комплексной оценке состояния и распространения видов, разработке и использованию различных



индексов, мер и индикаторов биоразнообразия. Анализ исследований по количественной оценке биоразнообразия выполнен в известных работах [Мэгарран, 1992; Протасов, 2002; Шитиков, Розенберг, 2005]. Авторы отмечают, что в этой области имеется целый ряд методологических проблем:

- существующие методы оценки биоразнообразия в значительной мере некорректны, в первую очередь потому, что никак не учитываются морфологическое, функциональное, экологическое сходство/различие между самими видами, которое определяется характерными показателями этих видов;
- индексы разнообразия часто основываются на экологически сомнительных концепциях: обычно в качестве эталона принимается экосистема с равными обилиями всех видов, что не вполне соответствует структуре реальных природных сообществ (другими словами – события, связанные с распространением видов, равновозможны);
- модели разнообразия пока основаны на достаточно частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгой теории оценки биоразнообразия;
- приходится констатировать, что со времен Р. Уиттекера, заложившего вербальную основу понятий разнообразия для совокупности местообитаний, сколько-нибудь строгих методов количественной оценки разнообразия до настоящего времени не разработано;
- множество комплексных индексов и мер биоразнообразия построены с использованием гипотетических и экспертных подходов, которые не несут в своей основе фундаментальных закономерностей и не используют естественнонаучные методы при анализе и описании данных.

Для того, чтобы оценить биологические особенности видов по комплексу показателей необходима система критериев, которые, скорее всего, будут иметь вероятностный характер. Ряд авторов считает, что наиболее важной характеристикой многообразия является показатель выравненности (evenness) большого количества (обилия) видов, который отражает структуру экологического сообщества и показывает отсутствие доминантных видов [Pielou, 1975; Песенко, 1982; География ..., 2002; Шитиков, Розенберг, 2005]. Считается, что экологическая система имеет высокое качество с точки зрения биоразнообразия, если она отличается большим количеством видов и высоким показателем выравненности [Песенко, 1982; География ..., 2002]. Если вникнуть в суть понятий обилия видов и выравненности обилия видов, то экологическая система, отличающаяся богатым видовым разнообразием, должна удовлетворять следующим условиям:

- иметь высокий показатель обилия видов (количество видов на единице территории);
- отличаться равномерными вероятностными распределениями количества особей каждого вида;
- иметь близкие уровни плотности распределения вероятности для каждого вида.

Вопрос о том, действительно ли такая экологическая система оптимальна с точки зрения биологической эволюции, является крайне дискуссионным. Однако она может быть принята в качестве базовой (идеальной) модели, позволяющей сравнивать различные экосистемы по отношению к ней по критериям биоразнообразия. Принятие такой гипотезы возможно в случае, если будут построены вероятностные модели биологического разнообразия для таксонометрических групп – отрядов, семейств и т. д.

Следует отметить, что теоретические работы комплексной оценки в области биоразнообразия и экологических наук часто сводятся к гипотезам и обобщениям, оторванным от реальной статистической базы и систематического изучения опытных данных. Как следствие, адекватных моделей биоразнообразия и комплексных оценок состояния и распространения видов очень мало. По утверждению Г.В. Розенберга и В.К. Шитикова [2005] «за последние 30 лет не появилось ни одной сколько-нибудь заметной публикации, вносящей что-то новое в основные концепции и фундаментальные законы экологии».

Сегодня поиску системообразующих факторов и формулировке общесистемных принципов моделирования объектов и явлений различной природы уделяется значительное внимание. Это направление в моделировании сложных систем связано с системным анализом и прикладной теорией систем. Последние исследования в этой области связаны с вероятностными описаниями систем, созданием теоретических методов и математического аппарата системной динамики. Работы Р. Уиттекера, Дж. Форрестера, П. Анохина и др. [Whittaker, 1970; Forrester, 1973; Анохин, 1980] внесли значительный вклад в технологию

прикладного компьютерного и математического моделирования сложных социально-экономических систем, построение моделей биологических и экологических систем. Данное направление моделирования систем связано с использованием естественнонаучных методов в описании живой природы. Однако на современном этапе развития науки следует признать, что в области биоразнообразия не существует фундаментальной теории, которая бы характеризовала состояние и распространение биологических видов. Попытки построения такой теории уже предпринимались. Еще в 30-х годах прошлого столетия известным русским ученым В.А. Костицыным концептуально был предложен подход, который позволяет построить модель распространения видов на Земле для оценки устойчивости жизни [Костицын, 1984]. В связи с тем, что в то время невозможно было реализовать информационные модели, которые охватывают большой объем количественных и графических данных, эта идея так и осталась нереализованной. Модели распространения видов являются одним из основных инструментов построения эволюционной теории развития жизни на Земле. Основная проблема в этой области – как построить информационные ресурсы, которые позволили бы представить данные о биологических показателях и ареалах десятков тысяч видов и увязать эти данные с глобальными климатическими данными, которые имеют объемы от 2 до 15 терабайт [Archives ...]. Очевидно, что без использования информационных технологий данная задача решена быть не может.

В области оценки биоразнообразия при изучении процессов и объектов исследователь оперирует массивами данных, содержащими десятки показателей и индикаторов. В настоящее время имеется ряд работ, направленных на стандартизацию показателей и индикаторов биоразнообразия для комплексной оценки состояния и распространения видов и применения статистических методов при изучении данных [Руководство ..., 2011; Identification ...; Zviagintseva, 2013]. В области биоразнообразия накоплены большие базы данных, однако они в своей массе пока плохо структурированы. Тем не менее, данная информация сегодня уже вполне позволяет поставить задачу построения событийных моделей описания видов животных и оценки вероятности их распространения на Земле. Установление закономерностей биоразнообразия даст возможность развивать практику использования в исследованиях экологических процессов и явлений естественнонаучных методов, основанных на вероятностных подходах анализа и описания опытных данных.

Принципы построения вероятностных моделей в области биоразнообразия

Пока в экологии методов количественной оценки биоразнообразия, которые бы не являлись в своей основе субъективными, практически не существует. Как показывают исследования, оценка биоразнообразия путем использования различных индексов часто приводит к противоречивым выводам, которые являются следствием субъективных представлений исследователей [Шитиков, Розенберг, 2005].

Сегодня в области биоразнообразия приоритетным считается изучение структурных особенностей сообществ в конкретных природно-климатических условиях с учетом их видового состава, численности, продолжительности жизни и других параметров. Без обобщения множества данных, характеризующих биоразнообразие, невозможно установить закономерности эволюции биологической жизни на Земле.

Для того, чтобы создать глобальные модели биологического разнообразия, необходимо отработать методические принципы исследования. Очевидно, что построение таких моделей невозможно без предварительной разработки моделей состояния биологических видов, которые бы характеризовали взаимосвязь биологических параметров организмов, а также моделей распространения видов, которые бы обобщали информацию об ареалах видов на планете. Такие модели следует основывать на вероятностных подходах. Отработку моделей можно выполнить на нескольких тестовых примерах применительно к 3–4 крупным таксонам животных и растений. Одновременно необходимо проводить работы по созданию структурированных баз данных биологических видов и увязке их с глобальными климатическими базами данных. Исходя из этого, актуальным является разработка геоинформационных моделей биоразнообразия, которые были бы основаны на учете и представлении ареалов видов, а также установление вероятностных закономерностей распространения видов с учетом их показателей.

Основные принципы применения вероятностных методов при комплексной оценке биоразнообразия могут быть сформулированы в виде:

- существующая в базах данных статистическая информация о физиологических и морфологических показателях и ареалах видов может быть представлена в виде событий, связанных с наблюдением одного или нескольких показателей, для которых могут быть определены вероятности;
- исходя из этого поиск связей и закономерностей в массиве данных может осуществляться не между показателями и ареалами видов, а между вероятностями событий наблюдения этих величин. При этом факт наблюдения одного показателя можно рассматривать как простое событие, а факт наблюдения нескольких показателей как совместное событие;
- статистические вероятности для простых и совместных событий могут быть найдены эмпирически с использованием различных алгоритмов сортировки, группировки и подсчета частот благоприятных событий в общей выборке всех наблюдений, характеризующих определенную группу видов;
- установление связи вероятностей событий с показателями и ареалами видов может быть осуществлено с использованием вероятностных методов пробит-анализа, которые широко применяются при оценке вероятностей событий;
- вероятностные модели взаимосвязи показателей и ареалов видов могут быть установлены для конкретных групп видов. Статистическая оценка проводится в многомерном вероятностном пространстве путем разработки пробит-моделей вида «вероятности событий – логарифмы показателей»;
- предполагается, что для различных групп биологических видов может быть построено множество подобных вероятностных моделей, которые позволят разработать уравнения состояний для различных групп таксонов и установить закономерности биоразнообразия, исходя из связи различных событий, характеризующих сами виды, ареалы видов и условия окружающей среды.

Для реализации сформулированных методических подходов были использованы массивы информации для мышеобразных, белкообразных и отряда приматов. Для этих групп существует обширная информация в виде глобальных баз данных. Кроме того использовались данные по биологическим видам из базы данных AnAge Database [AnAge ...], а также известные базы данных по биоразнообразию [Энциклопедия, 2008; GBIF ...; Базы ...] и др.

Подотряд мышеобразных отряда грызунов является одной из самых крупных таксономических единиц среди групп млекопитающих, он включает более 1 000 видов 10 существующих семейств и 3 вымерших. Представители данного подотряда населяют все природные зоны Земли. Собранная база данных мышеобразных включала информацию по 237 видам для 20 биологических показателей видов и их ареалов. Подотряд мышеобразных удобен как объект моделирования для анализа разнообразия и оценки условий обитания животных. Жизненные популяции грызунов являются индикатором состояния окружающей среды. Мышеобразные рассматриваются как ценная биологическая модель, а также представляют интерес в эпидемиологических исследованиях и занимают важное место в цепях питания.

Белкообразные по оценкам специалистов включают в себя около 400 видов различных грызунов [Энциклопедия, 2008]. Данная группа животных хорошо приспособляется к разным условиям жизни и освоила почти все климатические зоны Земли. Собранная база данных белкообразных содержала информацию о 90 видах, их показателях и ареалах. Подотряд белкообразные использован в связи с тем, что они имеют обширные области распространения и составляют самый древний подотряд грызунов.

Представители отряда приматов – полуобезьяны и обезьяны образуют многообразную группу с чрезвычайно сложными формами социальной организации. В основном приматы обитают в тропических дождевых лесах. В состав этой группы входит 356 видов 11 семейств [Энциклопедия, 2008]. Собранная база данных приматов содержала информацию по 174 видам. Подотряд приматов – высшая группа животных в эволюционной цепочке, в которую входит также и человек.

Для изучения данных о животных в целом использовалась наиболее полная на сегодняшний день база данных позвоночных животных [AnAge ...]. Нынешняя версия базы включает сведения о 4083 видах позвоночных. База данных охватывает рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. В базу внесены данные о максимальной

продолжительности жизни, массе тела при рождении и во взрослом состоянии, скорости роста и размножения, времени полового созревания, продолжительности беременности и некоторые другие характеристики (всего более 25 показателей). База данных имеет также полную информацию о систематике биологических видов. Для изучения биоразнообразия дополнительно собиралась информация об ареалах видов. С этой целью в базу вносилась картографическая информация (характеризующая ареалы видов животных) с основной атрибутивной информацией (площадью областей распространения, привязкой к характерным природным и климатическим зонам и т. п.) Всего, для установления площадей и особенностей ареалов видов, было обработано около 800 карт распространения мышеобразных, белкообразных и приматов на поверхности Земли.

Перечисленные выше данные использовались для создания вероятностных моделей взаимосвязи показателей и ареалов видов животных на основе предлагаемой методики. Для того, чтобы подойти к разработке моделей биоразнообразия планеты, подобную работу следует осуществить для всех видов животных, которые входят, например, в наиболее распространенные базы данных [AnAge ...; GBIF ...], а это минимум несколько тысяч видов. Аналогичная работа должна быть выполнена и для растений.

Вероятностные модели биоразнообразия для исследуемых биологических групп

Методика вероятностной обработки данных. На основе собранных данных можно оценить вероятности событий наблюдения показателей и ареалов видов и установить взаимосвязи между вероятностями таких событий. Для оценки ареалов видов предложено использовать геометрические вероятности, представляющие собой отношение площади ареала распространения каждого из видов к площади ареалов наиболее распространенных видов или к площади сухопутной части поверхности Земли. Вероятностные закономерности ищутся в виде зависимостей между геометрическими вероятностями и различными биологическими параметрами каждой из групп или климатическими показателями окружающей среды.

В свою очередь, вероятностные модели, характеризующие состояния видов, ищутся в виде уравнений связи между статистическими вероятностями совместных событий наблюдения некоторых биологических показателей и значениями этих показателей. Между вероятностями различных событий, например, вероятностями событий наблюдения ареалов и вероятностями совместных событий наблюдения биологических показателей, также можно искать взаимосвязи.

Для построения уравнений была применена методика оценки вероятности значимых событий. В основе этой методики лежат методы пробит-анализа, разработанные в XX веке известным энтомологом Честером Блиссом [Bliss C., 1934]. Многочисленные опытные данные, полученные в токсикологии, микробиологии, экологии и т.п. показывают, что вероятностная зависимость между долей особей, у которых наблюдаются некоторые эффекты, например, негативные, и количеством воздействия, например, дозой, выражается вероятностной кривой, имеющей S-образную форму. Для трансформации этой кривой в прямую линию на оси абсцисс откладывают логарифмы доз, а по оси ординат – вероятностные единицы, так называемые пробиты. В биологических науках и безопасности систем пробит определяется зависимостью:

$$Prob = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln z_1 + \alpha_2 \cdot \ln z_2 + \dots + \alpha_n \cdot \ln z_n; \quad w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Prob} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (1)$$

где α_i – постоянные, z_i – некоторые показатели; w – статистическая или геометрическая вероятность событий, n – количество анализируемых показателей.

При построении вероятностных моделей ареалов видов предполагается поиск связей осуществлять между вероятностью распространения видов (в виде геометрических вероятностей) и показателями, характеризующими изучаемую группу видов (масса, температура тела, продолжительность жизни и др.). Для одномерной случайной величины геометрическая вероятность определяется согласно уравнению:

$$w_{\text{геометр } i} = \frac{r_i}{r_{\text{max}}}, \quad (2)$$

где r_i – площадь области (областей) распространения i -ого вида; r_{max} – максимальное значение из площадей областей распространения видов исследуемого отряда (подотряда).

В свою очередь, при построении вероятностных моделей состояния видов также использовалась методика пробит-анализа, однако в качестве вероятностей событий применялись статистические вероятности совместных событий наблюдения видов с определенными биологическими параметрами (например, с заданной продолжительностью жизни и массой тела). Данные вероятности вычислялись по формуле:

$$w_{\text{stat}} = \frac{i}{m}, \quad (3)$$

где i – число видов в изучаемой группе видов, у которых наблюдаются биологические параметры меньше некоторых заданных величин; m – общее число всех видов исследуемого отряда (подотряда). Статистические вероятности находились для совместного события одновременного наблюдения продолжительности жизни и массы тела для каждого вида. Данные величины были выбраны в качестве атрибутивных характеристик видов. На рисунке 1 число видов i характеризуется количеством точек, попавших в выделенную область, а общее число видов m – количеством всех наблюдаемых точек на диаграмме рассеивания. Статистическая вероятность w_{stat} определялась в виде двумерного распределения на основе расчетного алгоритма.

Анализ полученных результатов. Более подробно результаты обработки данных, полученные на основе вышеприведенной методики, рассмотрим на примере отдельных зависимостей, установленных для подотряда мышеобразных.

В качестве основного события, характеризующего биологический вид, примем совместное событие одновременного наблюдения нескольких биологических показателей. В данном случае рассматривалось совместное событие одновременного наблюдения максимальной продолжительности жизни в неволе и среднего веса взрослой особи. Вероятность данного события w определялась алгоритмически. Для других событий, например, наблюдения уровня метаболизма, температуры тела т.д., определялись одномерные вероятностные распределения и устанавливались связи между вероятностями этих событий и основного совместного события.

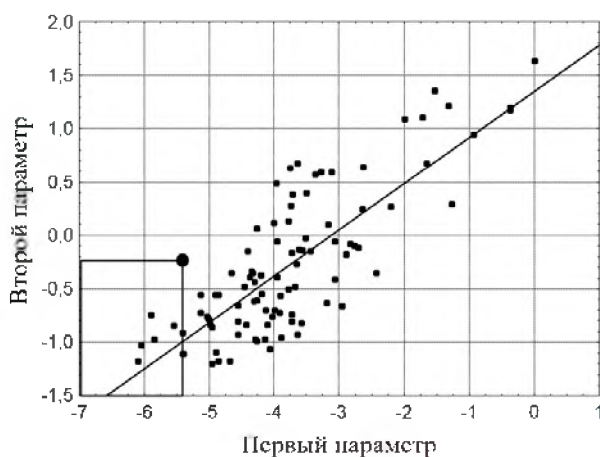


Рис. 1. Иллюстрация определения статистической вероятности для совместных событий одновременного наблюдения двух показателей видов

Fig. 1. The joint events statistical probability determination for two kinds of indicators simultaneous observation

Вероятностная модель состояния для мышеобразных с показателями максимальной продолжительности жизни в неволе и веса особей видов представлена на рисунке 2. Зависимость статистической вероятности этого совместного события (j) для мышеобразных имеет вид:

$$\text{Prob} = \alpha_0 + s; \quad s = \alpha_1 \cdot \ln \frac{\tau}{\tau_0} + \alpha_2 \cdot \ln \frac{v}{v_0}, \quad (4)$$

где τ – продолжительность жизни в неволе (лет); v – вес взрослой особи вида (кг); τ_0 , v_0 – показатели опорного вида, $\tau_0 = 4.00$ года, $v_0 = 0.0205$ кг; $\alpha_0 = -0.669$; $\alpha_1 = 2.045$; $\alpha_2 = -0.030$. В качестве опорного вида принята домовая мышь. Коэффициент корреляции данной зависимости составил 0.98.

Следует отметить, что в качестве опорного вида можно принять и любой другой вид мышеобразных. Выбор опорного вида влияет только на коэффициент α_0 в уравнении (4). При этом коэффициенты α_1, α_2 не изменяются. Принятие домовый мыши в качестве опорного вида объясняется изученностью данного вида и самой обширной областью его распространения на планете среди грызунов. Более того, уравнение (4) можно представить в виде уравнения (1). В этом случае геометрическую вероятность, характеризующую распространение видов, необходимо будет отнести к площади сухопутной части земной поверхности (148940000 км²).

При анализе взаимосвязи вероятностей различных событий значимые связи определены между статистической вероятностью w_{stat} совместного события (j) и показателем уровня метаболизма. Результаты анализа данных для мышеобразных представлены на рисунке 3.

Установлено, что зависимость вероятности w_{stat} от уровня метаболизма мышеобразных имеет вид:

$$Prob = -0.211 + 0.384 \cdot \ln \frac{Met}{Met_0}, \quad (5)$$

где Met – уровень метаболизма у каждого вида мышеобразных (Вт), $Met_0 = 0.271$ – уровень метаболизма у домовый мыши (Вт). Коэффициент корреляции зависимости составил 0.78.

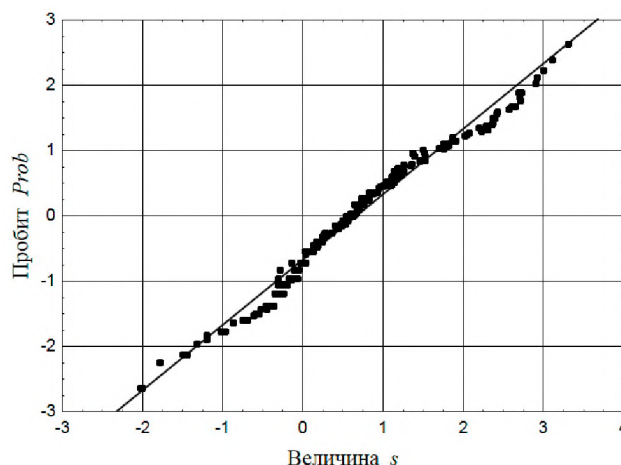


Рис. 2. Зависимость статистической вероятности w_{stat} от величины s

Fig. 2. Value s statistical probability w_{stat} dependence

Аналогичным образом устанавливались связи событий, характеризующих биологический вид, с событиями, определяющими его распространение. На основе значений площади ареалов видов были найдены геометрические вероятности согласно (2) путем деления площади ареалов каждого из видов мышеобразных на площадь ареала домовый мыши ($Ar_0 = 29980000$ км²). Наиболее значимые связи вероятности распространения видов установлены с температурой тела особей (рис. 4). Зависимость вероятности распространения видов от температуры тела имеет вид:

$$Prob_{ar} = -1.335 + 8.803 \cdot \ln \frac{t}{t_0}, \quad (6)$$

где t – температура тела каждого вида мышеобразных; $Prob_{ar}$ – пробит вероятности распространения видов мышеобразных, $t_0 = 39.0^\circ$ – средняя температура тела домовый мыши.

Данная зависимость является значимой, коэффициент корреляции зависимости составил 0.6. Аналогичные зависимости были получены для белкообразных и приматов. В результате анализа было установлено, что идентичные зависимости вида (1), связывающие между собой различные биологические показатели видов и их ареалы, отличаются коэффициентами α_i для каждой из изучаемых групп (мышеобразные, белкообразные и приматы).

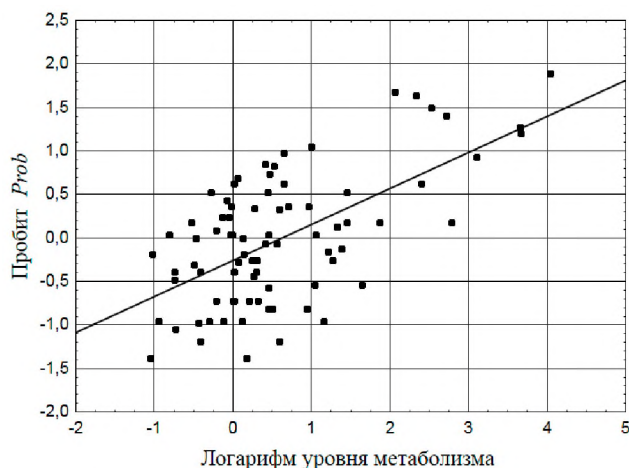
Рис. 3. Зависимость статистической вероятности w_{stat} от уровня метаболизма

Fig. 3. The metabolic rate statistical probability dependence

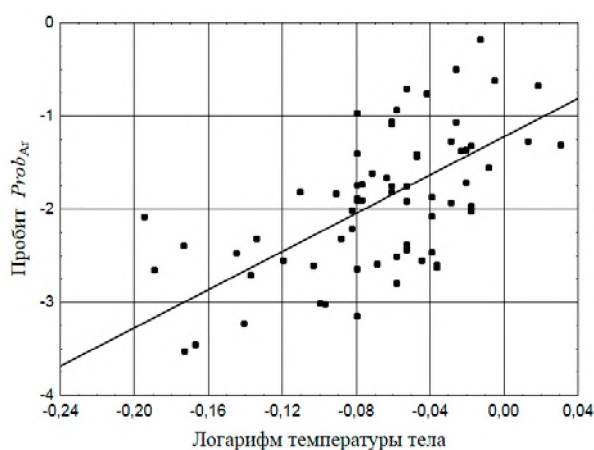


Рис. 4. Зависимость вероятности распространения видов подотряда мышеобразных от температуры тела особей соответствующего вида

Fig. 4. The Muridae species body temperature distribution probability dependence

Из приведенных результатов вытекает особенность, что области распространения видов по площади больше у тех видов, у которых температура тела особей выше. Так как существует связь между вероятностью распространения вида и температурой тела мышеобразных, белкообразных и приматов, то естественно предположить существование связи вероятности распространения видов с климатическими показателями.

Выводы

На примере видов подотрядов мышеобразных и белкообразных, а также представителей отряда приматов показана возможность изучения закономерностей взаимосвязи физиологических показателей и ареалов видов животных. При этом оценка совместных событий наблюдения различных показателей позволяет разработать вероятностные модели биоразнообразия в виде пробит-зависимостей. Объединение вероятностных моделей распространения видов с моделями состояния видов и климатическими данными позволит подойти к созданию глобальных моделей биоразнообразия. Основная сложность при этом состоит в создании структурированных архивов данных по наиболее распространенным и изученным биологическим видам. Предложенный подход позволяет при исследованиях экологических процессов использовать естественнонаучные методы анализа и описания данных наблюдений.

Список литературы References

1. Анохин П.К. 1980. Узловые вопросы теории функциональной системы. М., Наука, 197.
Anohin P.K. 1980. Uzlovye voprosy teorii funkcional'noj sistemy [The central questions of the functional systems theory]. Moscow, Nauka, 197. (in Russian)
2. Базы данных проекта «Биоразнообразии России». URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/ (20 февраля 2016).
Bazyi dannyih proekta "Bioraznoobrazie Rossii" [Database project "Russia Biodiversity"]. Available at: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm (accessed 20 February 2016). (in Russian)
3. Вымирание биологических видов, потеря биоразнообразия и здоровье человека. 1993. URL: <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857100187&nh=0&ssect=0> (22 февраля 2016).
Vymiranie biologicheskikh vidov, poterja bioraznoobrazija i zdorov'e cheloveka [The extinction of species, loss of biodiversity and human health]. Available at: <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857100187&nh=0&ssect=0> (accessed 22 February 2016). (in Russian)
4. Глобальные изменения биологического разнообразия. URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=432952> (05 февраля 2016).
Global'nye izmenenija biologicheskogo raznoobrazija [Global changes in biodiversity]. Available at: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=432952> (accessed 15 February 2016). (in Russian)
5. География и мониторинг биоразнообразия. 2002. М., Научный и учебно-методический центр Моск. ун-та, 432.
Geografija i monitoring bioraznoobrazija [Geography and biodiversity monitoring]. 2002. Moscow, Nauchnyj i uchebno-metodicheskij centr Mosk. un-ta, 432. (in Russian)
6. Емельянов И.Г. 1999. Разнообразии и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. К., НАНУ, 168.
Emel'janov I.G. 1999. Raznoobrazie i ego rol' v funkcional'noj ustojchivosti i jevoljucii jekosistem [Diversity and its role in the functional stability and evolution of ecosystems]. Kiev, NANU, 168.
7. Костицын В.А. 1984. Эволюция атмосферы, биосферы и климата. М., Наука, 96.
Kosticyn V.A. 1984. Jevoljucija atmosfery, biosfery i klimata [The evolution of atmosphere, biosphere and climate]. Moscow, Nauka, 96. (in Russian)
8. Любищев А.А. 1982. Проблемы формы систематики эволюции организмов. М., Наука, 281.
Ljubishhev A.A. 1982. Problemy formy sistematiki jevoljucii organizmov [The problems of organisms evolution systematics form]. Moscow, Nauka, 281. (in Russian)
9. Мэгарран Э. 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. М., Мир, 184.
Mjegarran Je. 1992. Jekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir, 184. (in Russian)
10. Павлинов И. 2013. История биологической систематики. Эволюция идей. Palmarium Academic Publishing, 476.
Pavlinov I. 2013. Istorija biologicheskoy sistematiki. Jevoljucija idej [Biological systematics history. Ideas evolution]. Palmarium Academic Publishing, 476. (in Russian)
11. Песенко Ю.А. 1982. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М., Наука, 287.
Pesenko Ju.A. 1982. Principy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovanijah [The principles and methods of quantitative analysis of faunal studies]. M., Nauka, 287. (in Russian)
12. Протасов А.А. 2002. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. К., Институт гидробиологии НАН Украины, 105.
Protasov A.A. 2002. Bioraznoobrazie i ego ochenka. Konceptual'naja diversikologija [Biodiversity and its evaluation. Conceptual diversicology]. K., Institut gidrobiologii NAN Ukrainy, 105. (in Russian)
13. Розенберг Г.С., Шитиков В.К. 2005. О соотношении математики и биологии в экологии. В кн.: Количественные методы экологии и гидробиологии. Тольятти, СамНЦ РАН: 228–233.
Rozenberg G.S., Shitikov V.K. 2005. About the relationship of mathematics and biology to ecology. In: Kolichestvennye metody jekologii i gidrobiologii [Quantitative Methods of Ecology and Hydrobiology]. Tol'jatti, SamNC RAN: 228–233. (in Russian)
14. Руководство по разработке и использованию национальных индикаторов биоразнообразия. 2011. UNEP: Всемирный Центр Мониторинга Сохранения, Кембридж, Великобритания, 40.
Rukovodstvo po razrabotke i ispol'zovaniju nacional'nyh indikatorov bioraznoobrazija [Guide to the development and use of national biodiversity indicators]. 2011. UNEP, Kembridzh, Velikobritaniya, 40. (in Russian)
15. Тишков А.А. 2007. Теория и практика сохранения биоразнообразия (к методологии охраны живой природы в России). URL: <http://biodat.ru/doc/lib/tishkov2.htm> (27 февраля 2016).



- Tishkov A.A. 2007. Teorija i praktika sohraneniya bioraznoobrazija (k metodologii ohrany zhivoj prirody v Rossii) [Theory and practice of conservation (methodology to wildlife conservation in Russia)]. Available at: <http://biodat.ru/doc/lib/tishkov2.htm> (accessed 27 February 2016). (in Russian)
16. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. 2005. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения. В кн.: Количественные методы экологии и гидробиологии. Тольятти, СамНЦ РАН: 91–129. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. 2005. Biodiversity assessment: formal attempt of generalization. In: Kolichestvennye metody jekologii i gidrobiologii [Quantitative Methods of Ecology and Hydrobiology]. Tolyatti, SamNTs RAN, 91–129. (in Russian)
17. Энциклопедия «Животные». 2008. М., Астрель, АСТ, 624. Jenciklopedija “Zhivotnye” [Encyclopedia “Animals”]. 2008. Moscow, Astrel', AST, 624. (in Russian)
18. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. Available at: <http://genomics.senescence.info/species/> (accessed 29 February 2016).
19. Archives re-analysis of climate data. Available at: <http://apps.ecmwf.int/datasets/>; <http://nomads.nccs.noaa.gov> (accessed 26 February 2016).
20. Bliss C. 1934. The method of probits. *Science*, 79 (2037): 38–39.
21. Chapin III F.S., Reynolds H.L., D'Antonio C., Eckhart V. 1996. The functional role of species in terrestrial ecosystems. Pp. 403–428 in *Global change in terrestrial ecosystems*. Walker B (ed). Cambridge University Press, Cambridge.
22. Chapin III F.S., Sala O.E., Burke I.C., Grime J.P. et al. 1998. Ecosystem consequences of changing biodiversity: experimental evidence and a research agenda for the future. *Bioscience* 48: 45–52.
23. Ehrlich P.R., Holm R.W. 1963. *The process of evolution*. New York, McGraw-Hill, 347.
24. Forrester, Jay W. 1973. *World Dynamics*. Portland, OR, Productivity Press, 144.
25. GBIF – Global Biodiversity Information Facility. Available at: <http://www.gbif.org/> (accessed 29 February 2016).
26. *Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources*. 1992. World Conservation Monitoring Centre. London: Chaptman & Hall, 594.
27. Groombridge B., Jenkins M.D. 2000. *Global Biodiversity. Earth's living resources in the 21st century*. Cambridge: World Conservation Monitoring Center. Hoechst foundation, 247.
28. Identification, Monitoring, Indicators and Assessment. Available at: <http://www.cbd.int/indicators/intro.shtml> (accessed 17 February 2016).
29. Leakey R.E. 1996. *The sixth extinction: biodiversity and its survival*. Wiedenfeld & Nicolson. London, 271.
30. Mayr E. 1969. *Principles of systematic zoology*. New York, McGraw Hill Book Co, 428.
31. McIntosh R.P. 1967. An Index of Diversity and the Relation of Certain Concepts to Diversity // *Ecology*, 48 (3): 392–404.
32. Naeem S., Thompson L.J., Lawler S.P., Lawton J.H., Woodfin R.M. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 347: 249–262.
33. Pielou E.C. 1975. *Ecological Diversity*. New York, Gordon & Breach Sci. Publ., 165.
34. Simpson G.G. 1961. *Principles of animal taxonomy*. New York, Columb. Univ. Press, 247.
35. Tilman D., Downing J.A. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367: 363–365.
36. Walker B.H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6: 18–23.
37. Whittaker R.H. 1970. *Communities and ecosystems*. New York, London, Macmillan, 162.
38. Zviagintseva A.V. 2013. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth. Available at: <http://www.rusnauka.com/> (accessed 26 February 2016).