



<http://ecopri.ru>

<http://petsu.ru>

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

Т. 6. № 1(22). Март, 2017

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20. Каб. 208.

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 581.9+591.9

Экологическая организация флоро-фаунистической неоднородности Северной Евразии

РАВКИН

Юрий Соломонович

*Институт систематики и экологии животных СО РАН,
Томский государственный университет,
zm@eco.nsc.ru*

БОГОМОЛОВА

Ирина Николаевна

*Институт систематики и экологии животных СО РАН,
i3335907@mail.ru*

ЦЫБУЛИН

Сергей Михайлович

*Институт систематики и экологии животных СО РАН,
tcsм_tomsk@mail.ru*

Ключевые слова:

флора
фауна
Северная Евразия
районирование
кластерный анализ
качественная аппроксимация
факторы
оценка связи
информативность представлений

Аннотация:

Приведены результаты кластерного анализа флоро-фаунистической неоднородности Северной Евразии. В общем они подтверждают полученные ранее данные. Однако использование методов непараметрической статистики позволило отвергнуть некоторые из них, а также показать невысокую информативность ряда других заключений, например о значимости Урала и Енисея как рубежей в неоднородности флоры и фауны. Из-за различий в толерантности животных и растений границы, проведенные по растительности, не всегда совпадают с флористическими и фаунистическими. При этом прослежены диагональные смещения по отношению к границам природных зон, связанные с разной реакцией видов на теплообеспеченность территории, особенно на отепляющее влияние Северо-Атлантического течения и в меньшей степени - Тихого океана. Приведены количественные оценки связи флоро-фаунистической изменчивости и основных факторов среды, их сочетаний и общей информативности представлений через учитываемую ими дисперсию сходства комплекса флор и фаун. Показано преобладание широтных изменений теплообеспеченности (зональности) по сравнению с континентальностью (провинциальностью), а также их интегральное влияние.

© 2017 Петрозаводский государственный университет

Опубликована: 08 ноября 2017 года

Введение

В серии предыдущих статей по фаунистическому и флористическому районированию Северной Евразии подведены итоги работ сначала отдельно по всем классам наземных позвоночных, затем по рыбам и круглоротым и, наконец, по всем этим группам вместе (обобщение см. в статье Равкина, Богомоловой, Цыбулина, 2015а), а также по беспозвоночным животным и флоре древесных растений (Равкин и др., 2014, 2015б). Цель такого анализа и, соответственно, этой статьи, помимо сопоставления

вариантов частного районирования, выполненного на одинаковой основе и единым набором подходов и вычислительных средств, – переход к комплексному биотическому районированию. Обычно фаунистическое районирование проводили по отдельным классам животных (Северцов, 1877; Семенов-Тян-Шанский, 1936; Кузнецов, 1950; Мекаев, 1987), а по флоре – чаще в целом и лишь иногда по отдельным группам растений (Курнаев, 1973; Равкин и др., 2015б). Единое фаунистическое районирование проводили на примере отдельных представителей тех или иных классов экспертно-умозрительно (Семенов-Тян-Шанский, 1936), то есть без применения формализованных методов сопоставления и классификации, хотя это вполне корректный подход теоретического обобщения. Лишь в последнее время для решения таких задач применены методы непараметрической статистики (Малышев, 2000; Бобров, Алещенко, 2001; Блинова, Равкин, 2008; Holt et al., 2013), которые способствуют сравнимости полученных результатов. К сожалению, в идеале проведение единого флоро-фаунистического районирования пока невозможно. Для решения этой задачи следовало бы выполнить все варианты районирования после решения всех споров в систематике растений и животных и полного завершения сбора данных по флоре и фауне. Но и после этого провести анализ биоты в целом будет весьма затруднительно, т. к. число видов даже сосудистых растений, а соответственно, и сходство за счет флоры может быть существенно выше, чем беспозвоночных животных, количество видов и разнообразие которых значительно больше, чем позвоночных. Поэтому при объединении повидовых списков закономерности неоднородности флоры подавят специфику изменчивости фауны в случае их несовпадения. Поэтому статью, предлагаемую вниманию читателей, можно рассматривать как опыт использования иного способа объединенного флоро-фаунистического районирования.

Материалы

Материалы, методы и подходы к этим исследованиям изложены ранее в публикациях авторов данной статьи, перечисленных во введении. Алгоритмы классификации и оценки связи с факторами среды и их неразделимыми сочетаниями (природными режимами) тоже опубликованы (Трофимов, 1976, 1978; Равкин и др., 1978; Трофимов, Равкин, 1980; Челинцев, 2000). Территория Северной Евразии (в границах СССР 1991 г.) разделена на 597 участков так, как это сделано в базе данных «Биодат» (<http://www.biodat.ru>). Сведения о встречаемости животных и древесных растений, а также об использованной карте-основе заимствованы из этого портала с уточнениями по источникам, упомянутым в статьях, посвященных вариантам частного районирования (см.: Равкин и др., 2014, 2015б). Общая подборка данных включает показатели встречаемости 2685 видов животных и растений (земноводных – 40 видов, пресмыкающихся – 170, птиц – 734, млекопитающих – 341, рыб и круглоротых – 335, жуков – 529, древесных растений – 536 видов). Выполненное исследование, с нашей точки зрения, достаточно актуально. Подобные работы могут быть использованы, как считают Хольт и др. (Holt et al., 2013), при планировании природоохранных мероприятий.

В данной работе принято следующее допущение. Все таксоны использованной при районировании классификации выделены в том случае, если в каждый из них входит не менее восьми участков. Кластеры с меньшим их числом включены в представительные таксоны того же уровня, с которыми они граничат и максимально сходны.

Методы

Один из возможных выходов из ситуации, описанной во введении, представляет собой следующий способ анализа. Сначала необходимо провести частное районирование по отдельным классам наземных позвоночных, а затем по всей группе этих животных, фауна которых описана достаточно полно. Сведения о распространении беспозвоночных явно недостаточны, поэтому по ним целесообразнее проанализировать какую-нибудь эталонную подборку хорошо изученных видов. Такой группой можно считать хотя бы часть видов жуков. Мы использовали для этого сведения по короедам, немонидам, ложнослоникам и трубновертам (Равкин и др., 2014; Ravkin et al., 2015). В качестве такой же эталонной флористической группы взяты древесные растения. Эти три подборки условно приняты в качестве равнозначных. Для этого рассчитанные по ним матрицы коэффициентов сходства усреднены. Такой подход показал свою эффективность при совместном анализе почв, морт-, фито- и зоомассы, значения по которым существенно различаются (Равкин и др., 2011). При анализе нашей выборки по флоре и фауне необходимость нормирования соответствующих матриц сходства отпадает, т. к. суммы коэффициентов и, соответственно, «веса» по каждой из них очень близки.

Результаты

При автоматической классификации выявлено восемь подобластей, поэтому объединение их в регионы, как это делали раньше, оказалось нецелесообразным. Половина подобластей разделена на провинции, одна из которых делится еще и на округа (рис. 1). Полная классификация приведена ниже.

Флоро-фаунистическое районирование Северной Евразии

Подобласти

1. Полярно-пустынно-тундровая островная (полярно-пустынных участков 7, тундровых 4);
2. Тундровая материковая кольско-чукотская (тундровых 54, редколесный 1).

Провинции

- 2.1 – Западная (тундровых 16);
- 2.2 – Срединная (тундровых 30, редколесных 1);
- 2.3 – Восточная (тундровых 8).

Подобласти

3. Тундрово-таежная северо-восточная притихоокеанская корякско-камчатская (тундровых 17, редколесных 4, среднетаежных 2);
4. Предтундрово-редколесная большеземельско-колымская (редколесных 69, северотаежных 3).

Провинции

- 4.1 – Западная (редколесных 14, северотаежных 2);
- 4.2 – Северо-восточная (редколесных 42, северотаежных 1);
- 4.3 – Юго-восточная (редколесных 13).
5. Таежно-степная балтийско-амурская подобласть (таежных 167, подтаежных и широколиственностепных 23 и 14, степных и лесостепных 55 и 20, редколесных 3).
- 5.1 – Северная таежно-степная провинция (северо- и среднетаежных 29 и 62, южно- и подтаежных 19 и 16, горно-таежных 25, лесостепных и степных 6 и 7, редколесных и широколиственностепных 3 и 1).

Округа

- 5.1.1 – Северо-западный таежный (северо- и среднетаежных 28 и 39, южно- и подтаежных 9 и 1, лесостепных 2);
- 5.1.2 – Восточный таежный (редколесных 3, таежных 46);
- 5.1.3 – Юго-западный южнотаежно-подтаежный (южно- и подтаежных 7 и 16, широколиственностепных и лесостепных 1 и 3);
- 5.1.4 – Срединный таежно-степной (степных 7, лесостепных 1, таежных 6).

Провинции

- 5.2 – Юго-западная широколиственностепная (степных и лесостепных 31 и 14, широколиственностепных 13, южно- и подтаежных по 2);
- 5.3 – Срединная степная (степных 11);
- 5.4 – Юго-восточная таежно-степная (таежных 30, подтаежных и степных 5 и 6).

Подобласти

6. Крымско-кавказская горная (горно-лесных 13, степных 12, полупустынных 4);
7. Таежно-лесная юго-восточная притихоокеанская уссурийско-сахалинско-курильская (средне- и южнотаежных 2 и 8, подтаежных и широколиственных по 2);
8. Пустынно-степная казахстанско-среднеазиатская (пустынных 51, полупустынных 33, степных 25).

Провинции

- 8.1 – Северо-западная степная (степных 14);
- 8.2 – Северо-восточная пустынно-полупустынная (полупустынных 9, пустынных 5);
- 8.3 – Срединная полупустынно-пустынная (пустынных 35, полупустынных 18);
- 8.4 – Южная полупустынно-пустынно-горностепная (горностепных 13, пустынных 11, полупустынных 6).



Рис. 1. Флоро-фаунистическое районирование Северной Евразии.

Характеристики таксонов см. выше в тексте классификации; границы: 1 – подобластей, 2 – провинций, 3 – округов, 4 – максимальной диагональности

Fig. 1. Floro-faunistic zoning of Northern Eurasia.

Characteristics of the taxa listed above in the text on classification; borders of: 1 – subregions; 2 – provinces; 3 – districts; 4 – maximum diagonality

Анализ зонально-подзональной принадлежности участков предварительного разделения, включенных в таксоны классификации, показывает значительное сходство их с зональным и подзональным делением территории, хотя стопроцентного совпадения состава зон и подобластей по участкам нигде нет. Так, в Полярно-пустынно-тундровой островной подобласти 64 % участков приходится на полярно-пустынные, а остальное – на тундровые. В Тундровой материковой подобласти номинальных (тундровых) участков 98 %, в Тундрово-таежной притихоокеанской их 74 %, а в Предтундрово-редколесной – 96 % редколесных участков. В Таежно-степной подобласти 72 % участков лесной зоны, а степных (если лесостепь считать подзоной степной зоны) – 27 %. Крымско-кавказская подобласть представлена преимущественно горно-лесными и степными участками (45 и 41 %), а юго-восточная притихоокеанская – на 100 % лесными участками. Почти половина Пустынно-степной казахстанско-среднеазиатской подобласти приходится на территорию пустынных участков (47 %), на 30 % это полупустыни, на 23 % степи. Сопоставляя подобный анализ по таксонам частного районирования, можно говорить о большей плавности флоро-фаунистических изменений и большей степени совпадения их с зональными.

Есть еще одна особенность неоднородности общего состава флоры и фауны. При частном районировании отдельно по группам животных и растений четко и в разной степени проявляется диагональность, то есть смещение границ выделяемых таксонов с северо-запада к юго-востоку, причем под разным углом к границам природных зон (с различной дифференциальностью). При комплексном районировании северо-западная диагональная граница в пределах Европы и Западной Сибири смещена к юго-западу и приближается к зональному разделению. В то же время ранее не значимое диагональное смещение в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (в связи с более слабым отепляющим влиянием Тихого океана по сравнению с Атлантическим) при комплексном районировании четко прослеживается вплоть до Забайкалья, хотя в северной части Приохотья из-за горных хребтов южная граница Предтундрово-редколесной подобласти смещена к югу. Провинциальность, определяемая континентальностью и горными массивами, прослежена и при первом формализованном разбиении,

хотя и в виде непредставительных включений. Так, в островной подобласти самая западная и самая восточная части (Земля Франца Иосифа и остров Врангеля) не приняты в качестве самостоятельных подобластей только из-за малой их представительности (соответственно два и один участок). То же самое отмечено и в Тундровой подобласти (Кольский полуостров), но в ней, в отличие от первой подобласти, восточное отклонение уже достаточно представительно и дает основание для выделения отдельной подобласти – Северо-восточной притихоокеанской. В таежно-степной части территории таких подобластей две: Крымско-кавказская на западе и Юго-восточная притихоокеанская на востоке.

Таким образом, можно констатировать наличие четырех широтных флоро-фаунистических полос, примерно соответствующих полярным пустыням, тундрам, предтундровым редколесьям и широтной полосе от северной тайги до северных (луговых) степей. Кроме того, имеются как минимум два клинальных включения – более южных флор и фаун: средиземноморских в Крым и на Кавказ, а на востоке, в юго-восточной притихоокеанской подобласти, японско-китайских флор и фаун в Уссурийский край, на Сахалин и Курилы. Причины этих проникновений – в тепляющем влиянии Средиземноморья на западе и муссонов на юго-востоке. Казахстанско-среднеазиатскую подобласть тоже можно рассматривать как клинальное включение полупустынно-пустынных условий с юга и соответствующей специфичности флор и фаун. Тепляющее влияние Атлантики приводит к диагональному смещению границ с северо-запада на юго-восток, а Тихого океана – с северо-востока на юго-запад. При этом отклонение от этого тренда четко видно в Северном Приохотье из-за влияния горных хребтов Восточной Сибири и Дальнего Востока.

По отношению к карте Г. Д. Рихтера (1964) диагональ юго-восточного смещения сначала отсекает на западе часть южнотаежно-подтаежной полосы, затем восточнее Тулы опускается до границы широколиственно-лесостепной полосы. Далее за Омском диагональная граница пересекает эту полосу и идет почти вдоль границы со степной зоной, слегка заходя в ее северную оконечность. Таким образом, диагональ пересекает с северо-запада на юго-восток три подзональных полосы. Аналогичное смещение с северо-востока на юго-запад от Тихого океана сначала идет по южной границе полосы темнохвойно-лиственничных лесов и редколесий, затем пересекает ее и примыкает к западным таежным елово-березовым редколесьям с тундрами и лугами Забайкалья. Таким образом, и это диагональное смещение тремя ступенями пересекает две природно-географические полосы.

Пространственно-типологическая структура и экологическая организация флоро-фаунистической неоднородности

На структурном графе флоро-фаунистической изменчивости в Северной Евразии четко прослеживаются два основных тренда (рис. 2).

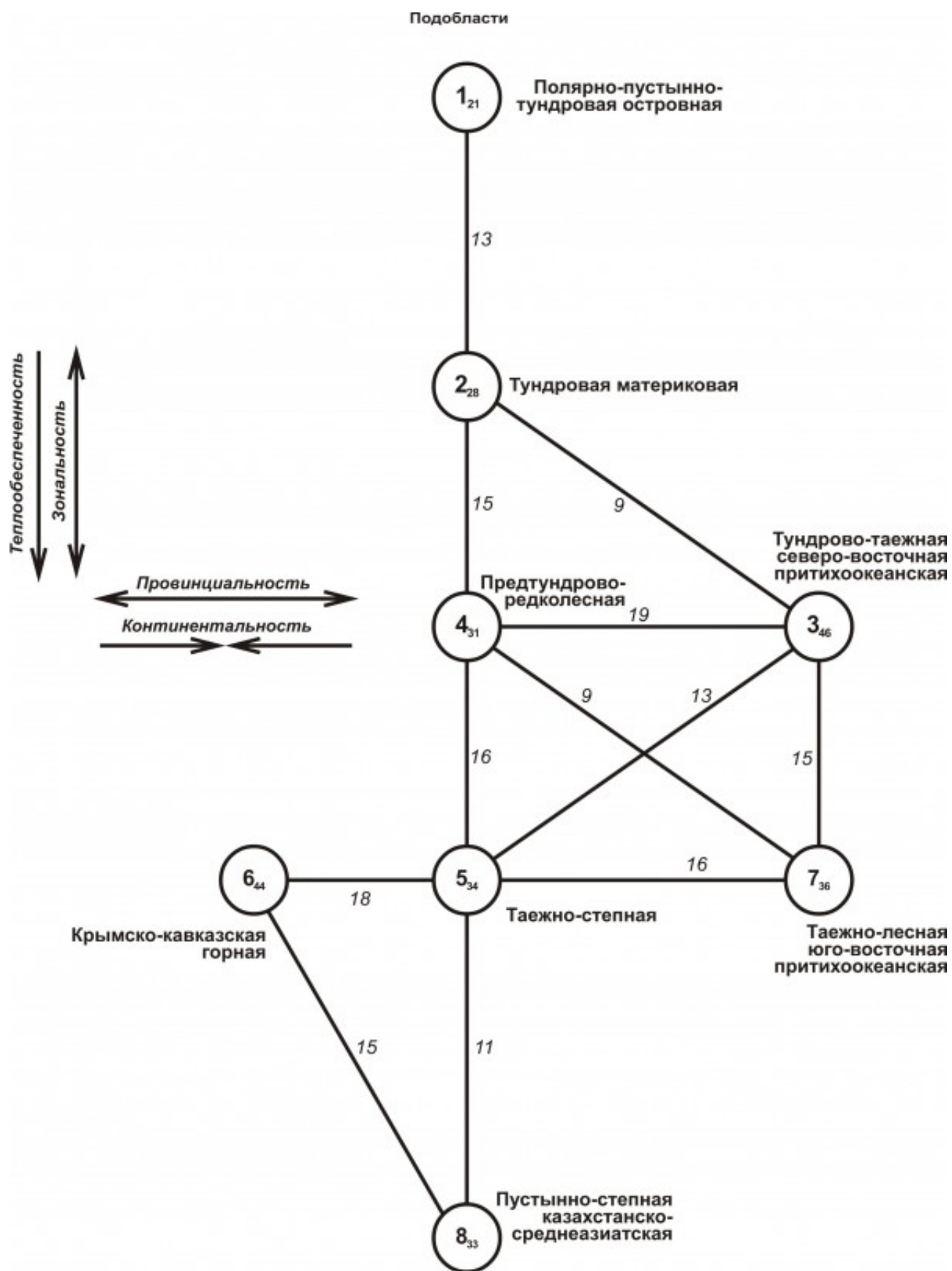


Рис. 2. Пространственно-типологическая структура флоро-фаунистической неоднородности Северной Евразии на уровне подобласти. Внутри значков приведены номера таксонов классификации (см. в тексте), в виде подстрочного индекса показана величина внутригруппового сходства. Между таксонами обозначена величина межгруппового сходства. Стрелки у перечня основных

структурообразующих факторов среды указывают направление увеличения их влияния и флоро-фаунистические тренды

Fig. 2. Spatial-typological structure of the Floro-faunistic heterogeneity of northern Eurasia at the level of subregion. The numbers of the taxa see in the text, a subscript shows the value of intra-group similarity.

Between the taxa the value of intergroup similarity is indicated. The arrows near the list of basic structure-forming environmental factors indicate the direction of increasing their influence and floro-faunistic trends

Первый из них иллюстрирует широтный характер изменений (от полярных до жарких пустынь через тундры, предтундровые редколесья, тайгу, леса, лесостепь и степи). Вторым трендом имеет долготное анклавное простираение, представленное Крымско-кавказской подобластью на юго-западе, а также северо- и юго-восточными притихоокеанскими подобластями на востоке. Первое определяет отепляющая роль Средиземноморья и барьерная защита горными массивами от северного переноса холодных воздушных масс. Второе связано с отепляющим воздействием Тихого океана.

Оценка связи пространственной изменчивости факторов среды с неоднородностью флоры и фауны Северной Евразии

Estimates of correlation between of the spatial variability of environmental factors and floro-faunistic heterogeneity in Northern Eurasia

Фактор, режим	Учтенная дисперсия, %
Теплообеспеченность (зональность+ провинциальность + поясность)	62
Зональность	50
Провинциальность	20
Островной эффект	4
Высотная поясность	0.6
Все факторы	72
Режимы:	
классификационные	63
структурные	57
Все режимы	70
Все факторы и режимы	83
Районирование*:	
климатическое	42
биогеографическое (биомное)	39
флористическое	33
физико-географическое	27
лесорастиельное	22

Примечание. * - варианты районирования заимствованы из литературы (Флора СССР, 1937; Курнаев, 1973; Udvardy, 1975; Воронов, Кучерук, 1977; Атлас СССР, 1983).

Итак, судя по классификации, можно говорить о влиянии на изменчивость флоры и фауны пяти скоррелированных факторов среды. Все они носят сборный характер, но в итоге могут быть сведены к различиям в теплообеспеченности (таблица). С нею можно связать 62 % дисперсии матрицы коэффициентов флоро-фаунистического сходства. Отдельно зональность и провинциальность учитывают соответственно 50 и 20 % дисперсии. Островной эффект и наличие гор определяют существенно меньшую часть неоднородности из-за относительно небольшой площади островов и горных массивов. Всеми перечисленными факторами можно объяснить 72 % дисперсии сходства, т. е. приращение к влиянию теплообеспеченности составляет по отдельным факторам среды всего 10 % дисперсии. Классификационные и структурные режимы, как неразделимые сочетания факторов, определяют 70 % дисперсии и добавляют к объяснению теплообеспеченностью еще 13 %.

Обсуждение

Биомное (по растительности и животному населению) экспертно-умозрительное деление Палеарктики (Udvardy, 1975; Воронов, Кучерук, 1976) на общей части территории заметно отличается от выполненного нами строго формализованного биотического (флоро-фаунистического) районирования. Если не принимать во внимание частности в местах проведения границ, различия сводятся к следующему. Указанные выше авторы, в отличие от нас, не выделяют полярные пустыни, включая их полностью в тундровый биом. То же следует сказать о предтундровых редколесьях, отнесенных

частично в тундровый или таежный биомы. Территория выделенных ими отдельно летнезеленых широколиственных лесов и степной биом входят в состав Таежно-степной подобласти биотического деления. Остальные биомы с несколько иными границами и названиями примерно совпадают с выделенными нами биотическими провинциями. Таким образом, можно считать, что принципиальные отличия прослеживаются в основном в арктической и субарктической части Северной Евразии и в меньшей степени в юго-западной части Таежно-степной провинции флоро-фаунистического деления. Степной биом при флоро-фаунистическом районировании разделен примерно пополам. Его северная часть (луговые степи) входит в Таежно-степную подобласть, а южная (сухие или настоящие степи) вместе с полупустынями – в Пустынно-степную.

Биотическое районирование этой части Палеарктики в 1.6 раза полнее аппроксимирует матрицу флоро-фаунистической неоднородности, чем биомное разделение. Последнее ближе к зональным представлениям, но, скорее всего, потому, что оно в значительной степени задано авторами, а не выявлено ими в процессе анализа. Результаты фаунистического районирования по позвоночным животным на уровне регионов и флоро-фаунистических подобластей в целом весьма сходны, если не принимать во внимание локальные несовпадения в местах проведения границ. Значимые отличия сводятся к следующему. Предтундрово-редколесная флоро-фаунистическая подобласть разделена по фауне позвоночных между Субарктическим тундровым и Таежно-степным регионами, а Тундрово-таежная притихоокеанская подобласть объединена с последним из них, который включает также часть южнее расположенных полупустынь и северных пустынь, а не только лесостепь и северные степи. Среднеазиатская часть южных пустынь занимает меньшую площадь, образуя по фауне отдельные регион и подобласть. Сихотэ-Алиньский и Сахалино-Курильский фаунистические округа при флоро-фаунистическом делении образуют самостоятельную подобласть так же, как крымско-кавказские округа.

Таким образом, флоро-фаунистическое деление отличается от фаунистического в основном рангом и представительностью ряда таксонов, а также принадлежностью предтундрово-редколесных территорий к двум соседним фаунистическим подобластям и регионам. То есть они не образуют единую подобласть, как при флоро-фаунистическом районировании. Это дает основание утверждать, что дифференциация указанной территории по флоро-фаунистической неоднородности выше, чем по позвоночным, и четче совпадает с зональным делением.

По фауне короедов сходство с результатами флоро-фаунистического районирования очень велико. Отличия в общем сводятся к объединению по короедам в отдельную подобласть территории Тундрово-таежной притихоокеанской флоро-фаунистической подобласти с приохотской частью редколесий, а также отделению фауны Курильских островов от сахалинской и уссурийской из-за большей близости их к таковой на Камчатке (Курильско-Камчатско-Охотская подобласть). При разделении территории Северной Евразии по остальным видам жуков как части эталонной группы беспозвоночных эти территории, кроме Уссурийского края и южной части Сахалина, входят в Балтийско-Тихоокеанскую лесную подобласть. Кроме того, по беспозвоночным Крымско-Кавказская подобласть занимает бóльшую, чем совместно по флоре и фауне, площадь за счет включения в ее состав южного Причерноморья, Крыма и Предкавказья. Итак, результаты районирования по выбранной группе жуков ближе к флоро-фаунистическому делению, чем к выполненному по позвоночным.

Результаты районирования по видам древесных растений на уровне региона и подобласти отличаются от флоро-фаунистического разделения очень сильно. Так, Полярно-пустынно-тундровый регион объединяет две подобласти, в первую из которых входит Земля Франца Иосифа, где, по данным портала Биодат, древесных растений нет. Вторая включает все остальные острова Ледовитого океана и большую часть тундровых и редколесных материковых участков. Третий регион образуют остальные редколесья, а также таежные и отчасти лесостепные и степные участки. К этому же региону отнесены все притихоокеанские территории, включая Сахалин и Курилы, которые по флоро-фаунистическому делению выделены как самостоятельные подобласти и не включают северо-восточные тундры и приохотскую материковую часть. На западе, напротив, лесные, степные и полупустынные участки входят в лесопустынно-степную подобласть Юго-Западного региона. Территория Кавказа, пустынно-горно-степные участки Средней Азии, так же как Приморье с Курилами, составляют отдельные подобласти. Главным отличием разделения территории по флоре древесных растений от комплексного флоро-фаунистического можно считать отделение в самостоятельную подобласть юго-западной части, вместе с территорией настоящих степей, полупустынь и северных пустынь.

В итоге можно говорить о вариабельности (подвижности) границ на стыке крупных регионов, подобластей и провинций в зависимости от состава анализируемой группы растений и животных.

Объединение всех проанализированных выборок приводит к более четкому по зональности выделению биотических таксонов, но не снимает необходимости дальнейших работ в этом направлении. При этом возможны два варианта. Первый, наиболее желательный, сводится к следующему: дальнейшее дополнение групп уже не будет значимо менять результаты районирования. Второй сведется к продолжению различий в прохождении границ. В этом случае аналогичные работы следует продолжать, пока существенная вариабельность границ не прекратится.

В целом предлагаемое нами районирование в большей степени объясняет неоднородность усредненной матрицы флоро-фаунистического сходства, чем результаты климатического, биогеографического, флористического и особенно физико-географического и лесорастительного районирования соответственно в 1.5–1.9 и 2.3–2.9 раза (в среднем вдвое). Общей множественный коэффициент корреляции всей системы наших объяснений равен примерно 0.91.

Заключение

Результаты проведенного кластерного анализа флоро-фаунистической неоднородности Северной Евразии при сделанных допущениях в общем сходны с ранее полученными представлениями об изменчивости флоры и фауны этой территории. Однако использование методов непараметрической статистики позволило подтвердить некоторые утверждения по флористическому и фаунистическому разделению указанной территории, отвергнуть другие из них или показать невысокую информативность ряда традиционных представлений, например, о высокой значимости Урала и Енисея как рубежей в неоднородности флоры и фауны. Кроме того, состав подобластей по числу участков, как правило, весьма сходен с зональным (от 45 до 100 % в каждом из выделенных таксонов), хотя никогда не совпадает со списком их в целом по зоне. Высокой сборностью в этом плане отличаются Таежно-степная, Крымско-Кавказская и Казахстанско-Среднеазиатская подобласти, поскольку 23–47 % участков в них относятся к соседним зонам. Относительно новым можно считать и выявление диагональных смещений под разным углом по отношению к границам природных зон в результате тепляющего влияния Северо-Атлантического течения и, в меньшей степени, Тихого океана. Главная новизна, как нам представляется, заключается в количественных оценках связи между флоро-фаунистической неоднородностью и изменчивостью основных факторов среды и их сочетаний (природно-географических режимов), как по отдельности, так и по суммарной оценке информативности представлений, рассчитанной через учитываемую ими дисперсию коэффициентов сходства комплекса флор и фаун. При этом не только показано преобладание влияния зональности по сравнению с провинциальностью (континентальностью), но и оценено их интегральное влияние через изменения теплообеспеченности территорий. Поэтому большее совпадение выявлено не с физико-географическим, а с климатическим районированием (соответственно 27 и 42 % дисперсии).

Библиография

Атлас СССР [The Atlas of the USSR]. М.: ГУГК, 1983. 260 с.

Блинова Т. К., Равкин Ю. С. Орнитофаунистическое районирование Северной Евразии [Ornithofaunistic Zoning of Northern Eurasia] // Сиб. экол. журн. 2008. Т. 15. № 1. С. 101–121.

Бобров В. В., Алещенко Г. М. Схема герпетогеографического районирования России и сопредельных стран [Scheme of herpetogeographic regionalization of Russia and neighbouring countries] // Вопросы герпетологии. Пушино; Москва, 2001. С. 31–34.

Воронов А. Г., Кучерук В. В. Биотическое разнообразие Палеарктики: проблемы изучения и охраны [Biotic diversity in the Palaearctic: problems of study and protection] // Биосферные заповедники: Труды I советско-американского симпозиума, СССР, 5–17 мая 1976 г. Л.: Гидрометеоздат, 1977. С. 7–20.

Кузнецов Б. А. Очерк зоогеографического районирования СССР [Essey on zoogeographical regionalization of the USSR]. М.: Изд-во Моск. об-ва испытателей природы, 1950. 176 с.

Курнаев С. Ф. Лесорастительное районирование СССР [Forest vegetation zoning of the USSR]. М.: Наука, 1973. 203 с.

Малышев Л. И. Моделирование флористического районирования кластерным анализом элементарных

выделов Северной Азии и Европы [Modelling floristic zoning by cluster analysis of elementary allotments in northern Asia and Europe] // Сравнительная флористика на рубеже III тысячелетия: достижения, проблемы, перспективы: Материалы V рабочего совещания по сравнительной флористике. СПб., 2000. С. 20–36.

Мекаев Ю. А. Зоогеографические комплексы Евразии [Zoogeographical complexes of Eurasia]. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 125 с.

Равкин Ю. С., Богомолова И. Н., Цыбулин С. М. Фаунистическое районирование Северной Евразии [Faunistic Zoning of Northern Eurasia] // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015а. № 3. С. 29–40.

Равкин Ю. С., Богомолова И. Н., Цыбулин С. М. Сравнительное районирование Северной Евразии по древесным растениям и наземным позвоночным [Comparative regionalization of Northern Eurasia by woody plants and ground vertebrates] // Сибирский лесной журнал. 2015б. № 5. С. 42–53.

Равкин Ю. С., Богомолова И. Н., Цыбулин С. М., Легалов А. А. Районирование Северной Евразии по фауне короедов (Scolytidae) [The zoning of Northern Eurasia on the fauna of bark beetles] // Евразийский энтомологический журнал. 2014. Т. 13. Вып. 3. С. 271–279.

Равкин Ю. С., Куперштох В. Л., Трофимов В. А. Пространственная организация населения птиц [Spatial arrangement of birds population] // Птицы лесной зоны Приобья / Ю. С. Равкин. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. С. 253–269.

Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография [Factor zoogeography]. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2008. 205 с.

Равкин Ю. С., Седельников В. П., Сергеев М. Г., Титлянова А. А., Хмелев В. А., Богомолова И. Н., Цыбулин С. М. Пространственно-типологическая дифференциация экосистем Западно-Сибирской равнины. Сообщение V. Экосистемы суши [Spatial-typological differentiation of the ecosystems of the West Siberian plain. Message V. terrestrial ecosystems] // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18. № 6. С. 773–788.

Рихтер Г. Д. Физико-географическое районирование СССР [Physico-geographical zoning of the USSR] // Физико-географический атлас мира. М.: Изд-во АН СССР и Главного управления геодезии и картографии СССР, 1964. С. 248–249.

Северцов Н. А. О зоологических (преимущественно орнитологических) областях внетропических частей нашего материка [On zoological (mostly ornitological) regions in extra-tropical parts of our continent] // Изв. Русск. геогр. об-ва. СПб., 1877. Т. 13. Вып. 3. С. 125–155.

Семенов-Тянь-Шанский А. Пределы и зоогеографические подразделения Палеарктической области для наземных сухопутных животных на основании географического распределения жесткокрылых насекомых [Borders and zoogeographical zones of Palearctic region of terrestrial animals on the basis of the geographical division of Coleoptera]. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 16 с.

Трофимов В. А. Модели и методы качественного и факторного анализа матрицы связи [Models and methods of factor qualitative analysis of communication matrix] // Проблемы анализа дискретной информации. Ч. II. Новосибирск, 1976. С. 24–36.

Трофимов В. А. Качественный факторный анализ матриц связей в пространстве разбиений со структурой [Quality factor analysis of connections matrix in the space of partitions with structure] // Модели агрегирования социально-экономической информации. Новосибирск: Наука, 1978. С. 91–106.

Трофимов В. А., Равкин Ю. С. Экспресс-метод оценки связи пространственной неоднородности животного населения и факторов среды [Express-method of estimating the connection between the heterogeneity of animals population and environmental factors] // Количественные методы в экологии. Л., 1980. С. 113–115.

Флора СССР [Flora of the USSR]. М.; Л., 1934. Т. 1. 302 с.

Челинцев Н. Г. Математические основы учета животных [Mathematical principles of animals census]. М.: ГУ Центррохотконтроль, 2000. 431 с.

Ravkin Yu. S., Bogomolova I. N., Tsybulin S. M., Legalov A. A. Zoning of Northern Eurasia based on the fauna of pine flower, fungus and leaf-rolling weevils (Coleoptera: Nemonychidae, Anthribidae, Rhynchitidae, Attelabidae) // Евразийский энтомологический журнал. 2015. № 14 (4). С. 367–373.

Holt Ben G., Lessard Jean-Philippe, Borregaard Michael K., Fritz Susanne A., Araújo Miguel B., Dimitrov Dimitar, Fabre Pierre-Henri, Graham Catherine H., Graves Gary R., Jansson Knud A., Nogués-Bravo David, Wang Zhiheng, Whittaker Robert J., Fjeldsá Jon, Rahbek Carsten. An Update of Wallace's Zoogeographic Regions of the World // Science. 2013. Vol. 339. № 4. P. 74–79.

Udvardy M. D. F. Classification of the Biogeographic Provinces of the World Occasional № 18 Int. Union for Conservation of Nature. Morges. Switzerland, 1975. P. 1–48.

www.biodat.ru

Благодарности

Исследования, послужившие основой для настоящей статьи, выполнены по программе ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг., проект № VI.51.1.8, и частично в рамках «Программы повышения конкурентоспособности Томского государственного университета».

Ecological arrangement of floro-faunistic heterogeneity of northern Eurasia

RAVKIN
Yury

ISEA SB RAS Tomsk State University, zm@eco.nsc.ru

BOGOMOLOVA
Irina

ISEA SB RAS, i3335907@mail.ru

TSYBULIN
Sergey

ISEA SB RAS, tcsm_tomsk@mail.ru

Keywords:

flora
fauna
northern Eurasia
regionalization
cluster analysis
qualitative approximation
factors
assessment of connection
informative value

Summary:

In the previous articles on the faunistic and floristic zoning of the northern Eurasia the results were summed up. At first, in was done on all classes of terrestrial vertebrate animals separately, then on fishes and cyclostomes and after that on all these groups together (Ravkin, Bogomolova, Tsybulin, 2015a) as well as on invertebrate animals and flora of woody plants (Ravkin et. al., 2014, 2015b). The main aim of this analysis is a complex biotic zoning apart from comparing the variants of the local zoning produced on the same basis and using the same approaches and computing instruments.

The analysis of biota as a whole is rather difficult, as the number of even vascular plants species and, consequently, their similarity due to flora can be significantly greater than that of invertebrate animals. Moreover, the number of species and diversity of invertebrate animals is greater than that of vertebrate ones. For this reason in joining species lists the regularities of flora heterogeneity may suppress the specificity of fauna variability in the case of their divergence. It seems that at first it is necessary to carry out the local zoning on the certain classes of terrestrial animals, and then on the whole group of the animals which fauna is described comprehensively. The data on the distribution of invertebrate animals are scarce, therefore, it is more reasonable to analyze a reference sampling of well studied species; for example, a part of beetle species. For that, we used the data on the species of Nemonichids, bark beetles, Anthribus and leaf-roller weevils (Ravkin et al., 2014; Ravkin et al., 2015). As a reference floristic group some woody plants were taken. These three samplings were conventionally considered as equal ranking. Thereto matrixes calculated for them were averaged out. This approach was effective in simultaneous analyzing soils, mort-, phito- and zoomass the values of which significantly differ (Ravkin et al., 2011).

Materials, methods and approaches to these investigations have been presented in the papers listed in the Introduction. The territory of the northern Eurasia (within the confines of the USSR, 1991) was divided into 597 regions, as it was in database "Biodat" (<http://www.biodat.ru>)

As a result, it can be stated that there are four latitudinal floristic faunistic zones more or less corresponding to polar desert, tundra, open boreal woodland and latitudinal zone from the northern taiga to the northern (meadow) stepper. In addition, there are at least two wedge inclusions of southern flora and fauna: Mediterranean ones - to the Caucasus and Crimea; and in the East in the southeastern coastal Pacific sub-region, those of Japanese and Chinese flora and fauna - to the Ussuriland, Sakhalin island and the Kurils. Such a

penetration is caused by the heating effect of the Mediterranean in the West and by monsoons in the East. Kazakhstani and Central Asian sub-region can be considered as a wedge inclusion of semi-desert and desert conditions from the South and appropriate specificity of flora and fauna. The heating effect of the Atlantic results in diagonal boundary displacement from the Southwest to the Southeast, and that of the Pacific – from the Northeast to the Southwest. At that, the deviation from this trend is clearly seen in northern coast of the Sea of Okhotsk due to the effect of mountain ranges of Eastern Siberia and Far East. In the spatial typological structure and ecological organization of heterogeneity of flora and fauna, two main trends can be retraced. The first one exhibits the latitudinal character of changes (from polar deserts to hot ones across tundra, open boreal woodland, taiga, woods, forest-steppe and steppe). The second trend has a longitudinal enclave spreading such as Crimean and Caucasian sub-region in the Southwest as well as the northern and southern Pacific coastal sub-regions in the East.

According to the classification, there are five correlated factors influencing the variability of fauna and flora. All of the factors are of integrated character, but their difference may be restricted by heat supply. It can be connected with dispersion of fauna and flora matrix similarity coefficients by 62%. Zonality and provinciality take into account 50% and 20%, respectively. Island effect and mountings determine a significantly less part of heterogeneity due to relatively small area of islands and mountain group. All these factors can explain 73% similarity dispersion, that is the excess in heat supply due to environmental factors is 10% dispersion. Classificational and structural regimens, as inseparable combination of factors, determine 79% dispersion and add 13% to the explanation of heat supply.

In general, the results of cluster analysis of the heterogeneity of fauna and flora in northern Eurasia confirm with the concept on the spatial variability of flora and fauna in this region presented earlier. However, nonparametric statistical methods enable not only to confirm some previous conclusions, but to reject some of them as well as to show the low informative value of the number of common concepts, for example, about the significance of the Urals and the Yenisei as borders in fauna and flora heterogeneity. In the distinguished sub-regions a number of regions belong to a greater or lesser extent to certain zones and sub-zones (45 – 100% in each taxon, although their composition never coincides completely with zonal and sub-zonal one. Due to the difference in tolerance of animals and plants the boundary lines run out on the basis of plants do not always coincide with floristic and faunistic ones. At that, some diagonal displacements are retraced in relation to the natural zone boundaries; they are associated with various reactions of different species to the heat supply of the territory. The received results coincide with those received by climatic zoning to a greater extent than by complex physical geographic one.

References

The Atlas of the USSR. M.: GUGK, 1983. 260 p.

Blinova T. K. Ravkin Yu. S. Ornithofaunistic Zoning of Northern Eurasia, *Sib. ekol. zhurn.* 2008. T. 15. No. 1. P. 101-121.

Bobrov V. V. Aleschenko G. M. Scheme of gerpetogeografic regionalization of Russia and neighbouring countries, *Voprosy gerpetologii*. Puschino; Moskva, 2001. P. 31–34.

Voronov A. G. Kucheruk V. V. Biotic diversity in the Palaearctic: problems of study and protection, *Biosfernye zapovedniki: Trudy I sovetsko-amerikanskogo simpoziuma, SSSR, 5–17 maya 1976 g. L.: Gidrometeoizdat, 1977. P. 7–20.*

Kuznecov B. A. Essey on zoogeographical regionalization of the USSR. M.: Izd-vo Mosk. ob-va ispytateley prirody, 1950. 176 p.

Kurnaev S. F. Forest vegetation zoning of the USSR. M.: Nauka, 1973. 203 p.

Malyshev L. I. Modelling floristic zoning by cluster analysis of elementary allotments in northern Asia and Europe, *Sravnitel'naya floristika na rubezhe III tsysyacheletiya: dostizheniya, problemy, perspektivy: Materialy V rabocheho soveschaniya po sravnitel'noy floristike*. SPb., 2000. P. 20–36.

Mekaev Yu. A. Zoogeographical complexes of Eurasia. L.: Nauka. Leningr. otd-nie, 1987. 125 p.

Ravkin Yu. S. Bogomolova I. N. Tsybulin S. M. Faunistic Zoning of Northern Eurasia, *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2015a. No. 3. P. 29–40.

Ravkin Yu. S. Bogomolova I. N. Tsybulin S. M. Comparative regionalization of Northern Eurasia by woody plants and ground vertebrates, *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2015b. No. 5. P. 42–53.

Ravkin Yu. S. Bogomolova I. N. Tsybulin S. M. Legalov A. A. The zoning of Northern Eurasia on the fauna of bark beetles, *Evraziatskiy entomologicheskoy zhurnal*. 2014. T. 13. Vyp. 3. P. 271–279.

Ravkin Yu. S. Kupershtoh V. L. Trofimov V. A. Spatial arrangement of birds population, *Pticy lesnoy zony Priob'ya*, Yu. P. Ravkin. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1978. P. 253–269.

Ravkin Yu. S. Livanov S. G. Factor zoogeography. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 2008. 205 p.

Ravkin Yu. S. Sedel'nikov V. P. Sergeev M. G. Titlyanova A. A. Hmelev V. A. Bogomolova I. N. Tsybulin S. M. Soobschenie V. Spatial-typological differentiation of the ecosystems of the West Siberian plain. *Message V. terrestrial ecosystems*, *Sib. ekol. zhurn.* 2011. T. 18. No. 6. P. 773–788.

Rihter G. D. Physico-geographical zoning of the USSR, *Fiziko-geograficheskoy atlas mira*. M.: Izd-vo AN SSSR i Glavnogo upravleniya geodezii i kartografii SSSR, 1964. P. 248–249.

Severcov N. A. On zoological (mostly ornitological) regions in extra-tropical parts of our continent, *Izv. Russk. geogr. ob-va*. SPb., 1877. T. 13. Vyp. 3. P. 125–155.

Semenov-Tian-Shanskiy A. Borders and zoogeographical zones of Palearctic region of terrestrial animals on the basis of the geographical division of Coleoptera. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1936. 16 c.

Trofimov V. A. Models and methods of factor qualitative analysis of communication matrix, *Problemy analiza diskretnoy informacii*. Ch. II. Novosibirsk, 1976. P. 24–36.

Trofimov V. A. Quality factor analysis of connections matrix in the space of partitions with structure, *Modeli agregirovaniya social'no-ekonomicheskoy informacii*. Novosibirsk: Nauka, 1978. P. 91–106.

Trofimov V. A. Ravkin Yu. S. Express-method of estimating the connection between the heterogeneity of animals population and environmental factors, *Kolichestvennyye metody v ekologii*. L., 1980. P. 113–115.

Flora of the USSR. M.; L., 1934. T. 1. 302 p.

Chelincev N. G. Mathematical principles of animals census. M.: GU Centrohotkontrol', 2000. 431 p.

Ravkin Yu. S., Bogomolova I. N., Tsybulin S. M., Legalov A. A. Zoning of Northern Eurasia based on the fauna of pine flower, fungus and leaf-rolling weevils (Coleoptera: Nemonychidae, Anthribidae, Rhynchitidae, Attelabidae), Evraziyskiy entomologicheskiy zhurnal. 2015. No. 14 (4). P. 367–373.

Holt Ben G., Lessard Jean-Philippe, Borregaard Michael K., Fritz Susanne A., Araújo Miguel B., Dimitrov Dimitar, Fabre Pierre-Henri, Graham Catherine H., Graves Gary R., Jansson Knud A., Nogués-Bravo David, Wang Zhiheng, Whittaker Robert J., Fjeldsá Jon, Rahbek Carsten. An Update of Wallace's Zoogeographic Regions of the World, Science. 2013. Vol. 339. No. 4. P. 74–79.

Udvardy M. D. F. Classification of the Biogeographic Provinces of the World Occasional No. 18 Int. Union for Conservation of Nature. Morges. Switzerland, 1975. P. 1–48.

www.biodat.ru