

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МУРАВЬЕВ КАК БИОИНДИКАТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

Козлова Анастасия Александровна

Аспирант, Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород)
akatoe-nn@yandex.ru

GEOINFORMATION MONITORING OF BIOINDICATOR ANTS IN FOREST GROWING CONDITIONS EXAMINING OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA

A. Kozlova

Summary. The article considers application of geoinformation and statistical methods in examining of forest growing conditions of phytocenoses in the Republic of Mordovia and the intensity of Formica ants` influence as a biotic environmental factor. Presumably, completeness and yield class of forest cultures in the examined area are determined, inter alia, by ants` dispersal patterns in phytocenoses. In the current research, data reflecting the state of the forest and the localization of anthills in certain settlements of the republic were uploaded to a digital map based on the ArcGIS geoinformation platform and processed with spatial analysis tools to visualize the population structure of Formica ants. To determine the statistical significance of ants` presence, the data was analyzed using StatTech program, which permits to assess the randomness or regularity of their dispersal in the republic on the base of Pearson`s chi-square, median and quartile methods. The results of the research lead to conclusions about the direct role of ants in the forest community formation and necessity of their use in environmental monitoring of specially protected natural areas. In addition, the current research empathizes the importance of using digital mapping based on geographic information systems in addition to classical statistics.

Keywords: geoinformation systems, digital mapping, «chi-square» method, Republic of Mordovia, forest growing conditions, bioindicators, ants, Formica.

Аннотация. В статье рассматривается применение методов геоинформатики и математической статистики в оценке состояния лесных сообществ Республики Мордовия и степени влияния муравьев рода Formica как биотического фактора среды. Предположительно, полнота и бонитет лесных насаждений на исследуемой территории определяют популяционную структуру муравьев рода Formica, являющихся биологическими защитниками леса и активно используемыми биоиндикаторами состояния древесных пород. В ходе исследования данные, отображающие состояние леса и локализацию муравейников в определенных населенных пунктах республики, были выгружены на цифровую карту, построенную на базе геоинформационной платформы ArcGIS, и обработаны инструментами пространственного анализа для визуализации популяционной структуры муравьев Formica. Также для определения статистической значимости присутствия муравьев была использована программа «СтатТех», позволяющая оценивать случайность или закономерность их расселения по республике с помощью методов хи-квадрата Пирсона, медианы и квартилей. Результаты полученного исследования позволяют сделать вывод о непосредственной роли муравьев в формировании древостоя и актуальности их использования в экологическом мониторинге особо охраняемых природных территорий. Кроме того, подчеркивается важность использования цифрового картографирования на базе геоинформационных систем наряду с классической статистикой.

Ключевые слова: геоинформационные системы, цифровое картографирование, метод «хи-квадрат», Республика Мордовия, лесорастительные условия, биоиндикаторы, муравьи, Formica.

Введение

Лесные сообщества Республики Мордовия отличаются многолетней историей формирования, видовым разнообразием, многие из них входят в состав ООПТ регионального и федерального значения и тем самым представляют собой экологически значимые природные объекты. В связи с этим необходим регулярный контроль их состояния на всех уровнях (качество лесобразующих пород, почвенные факторы, отслеживание структуры и динамики популяций ценотически важных видов и вредителей, угрожающих состоя-

нию экосистемы). Классические методы оценки состояния леса включают в себя периодические мероприятия по сбору данных, формированию на их основе форм ГЛР с полями, отражающими основные критерии благополучия лесного сообщества (тип и возраст лесобразующих пород, группа полноты и класс бонитета леса). Мониторинг такого уровня энергозатратен и отнимает значительное количество времени, в связи с чем в настоящее время в лесном хозяйстве, экологии и природопользовании развивается применение геоинформационных систем (далее — ГИС) как основы для анализа данных. ГИС позволяют визуализировать сведения об экологической

ситуации в фитоценозе на цифровой карте, выполнять на её базе операции пространственного анализа и обрабатывать информацию статистически.

В настоящем исследовании цифровое картографирование используется для определения возможного влияния поселений муравьев рода *Formica* (Hymenoptera: Formicidae) на лесорастительные условия в ряде локалитетов Республики Мордовия (поиск возможной зависимости распределения популяций муравьев от полноты и бонитета леса на конкретном участке). Эти виды используются в качестве биоиндикаторов, так как предположительно оказывают прямое влияние на благополучие лесных сообществ, контролируя популяции хвое- и листогрызущих вредителей древесных растений и принимая участие в почвообразовании.

Для картографирования используется цифровая платформа ArcGIS со встроенными модулями пространственного анализа, для статистической обработки результатов — платформа «СтатТех», позволяющая рассчитывать случайность или закономерность распределения популяций муравьев по территории республики. В результате определяется степень значимости муравьев в формировании лесного сообщества.

Характеристика района исследования

Географическое положение Республики Мордовия определяется Русской равниной между восточной долготы и северной широты. Максимальная протяженность с запада на восток 298 км, а с севера на юг до 140 км [1].

Республика расположена на юго-западной периферии бассейна Волги в междуречье Мокши и Суры. Сура (правый приток Волги) протекает вдоль юго-восточной границы, ее основные притоки в Мордовии Алатырь, Большая Кша, Чеберчинка, Штырма, Меня. Мокша (правый приток Оки) течет по западной части Мордовии, к ее бассейну относятся Вад, Сивинь, Исса, Сатис, Урей, Уркат [2].

Согласно лесорастительному районированию Российской Федерации, Мордовия находится в пределах подзона смешанных и широколиственных лесов и (ближе к югу) зоны лесостепи [3; 4]. В структуре почвенного покрова наблюдается сочетание дерново-подзолистых, серых лесных почв, черноземов. В естественной растительности преобладают дубовые леса и луговые степи, распространены сосновые боры с примесью ели. Основными лесобразующими породами в Мордовии являются сосна обыкновенная, ель обыкновенная, лиственница европейская, дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клен платановидный, вяз гладкий, бородавчатая и пушистая береза, ольха клейкая, липа мелколистная, тополь черный [5].

Преобладающими типами почв в республике являются дерново-подзолистые и серые лесные, благоприятные для произрастания хвойных и мягколиственных древесных пород и гнездования наземных лесных насекомых, включающих в себя и муравьев рода *Formica* [6;7].

Материалы и методы

Основу для настоящего исследования составили результаты полевых сборов, проведенных в 2012–2018 гг. научным руководителем автора доцентом кафедры ботаники и зоологии ННГУ Владимиром Александровичем Зряниным и руководителем Мордовского государственного природного заповедника Александром Борисовичем Ручиным [8; 9]. Были собраны данные по 80 муравейникам 11 видов муравьев рода *Formica*, из них 5 выделены в отдельный подвид *Formica* s. str. (рыжие лесные муравьи) — собственно рыжий лесной муравей *Formica rufa*, малый лесной муравей *F. polyctena*, северный лесной муравей *F. aquilonia*, луговой муравей *F. pratensis* и красноголовый муравей *F. truncorum*. Эту группу видов отличает способность образовывать комплексы муравейников — группы муравейников одного или близкородственных видов, соприкасающихся кормовыми участками [10;11]. В ходе исследования было отмечено, что иногда в комплексах рыжих лесных муравьев обнаруживались и представители других видов рода *Formica*, но в единичном количестве — по всей вероятности, они были занесены в муравейники случайно.

Преобладающая масса локалитетов, где были собраны данные, относятся к территории или окрестностям Мордовского государственного природного заповедника и национального парка «Смольный». Информация о состоянии леса (тип и возраст преобладающей древесной породы, группа полноты и класс бонитета леса в конкретном лесничестве) были взяты с официального сайта регионального отделения Федерального агентства лесного хозяйства по Приволжскому Федеральному округу для определения корреляции между лесорастительными условиями и пространственным распределением популяций муравьев. Особое внимание уделяется следующим параметрам — тип лесобразующей породы, группа полноты леса (степень сомкнутости крон деревьев на 1 га леса, исчисляется в долях единицы, где 1 — оптимальная полнота леса, не затронутая деятельностью человека) и класс бонитета (продуктивности, урожайности) леса в данном районе от I до V (I – наивысший класс урожайности) [12].

В качестве основных методов исследования применялось цифровое картографирование и пространственный анализ на базе геоинформационной системы ArcGIS с картографическим сервисом [13; 14]. Картографиче-



Рис. 1. Карта муравейников рода *Formica* Республики Мордовия. 1 — *Formica fusca*, 2 — *F. rufa*, 3 — *F. pratensis*, 4 — *F. polystena*, 5 — *F. sanguinea*, 6 — *F. cinerea*, 7 — *F. cunicularia*, 8 — *F. exsecta*, 9 — *F. glauca*

ский мониторинг Среднего Поволжья и прилегающих регионов ведется автором с 2016 г. и регулярно заполняется сведениями о новых муравейниках [15]. Данные, отражающие результаты сборов по каждому муравейнику (вид муравья, населенный пункт и координаты места сбора, тип поселения — одиночный муравейник или комплекс) в табличном формате были экспортированы на карту в виде точечного слоя, где каждая точка отражала сведения о конкретном муравейнике. Дальнейшим шагом было применение инструмента «Построение карты интенсивности» в меню «Пространственный анализ и отображение данных» — таким образом определялись районы с наибольшей плотностью популяций муравьев.

Для обобщения результатов данные подвергались статистической обработке в программе «СтатТех». Каждая характеристика локалитета (преобладающая порода, группа полноты и класс бонитета леса, вид муравья, тип поселения муравьев) представляла собой либо независимый параметр, либо зависимую переменную, через которую определялся параметр. Был проведен анализ зависимости распределения одиночных муравейников и комплексов от вида муравья, типа преобладающей лесообразующей породы, группы полноты и класса бонитета леса. В качестве критериев оценки использовался метод «хи-квадрата» Пирсона (при оценке качественных показателей) с вычислением коэффициента

статистической значимости p , отражающим разность между минимальной и максимальной частотой встречаемости искомого признака. За критическое значение p , определяющее границы статистической значимости, было принято $p \leq 0,05$ [16; 17]. При анализе количественных показателей применялся U -критерий Манна-Уитни с определением квартилей (минимального и максимального значений исследуемого признака) и медианы (среднего значения исследуемого признака) [18].

Результаты и обсуждение

В качестве первичного результата настоящего исследования представлена цифровая карта локализации муравейников представителей разных видов рода *Formica* в Республике Мордовия. Сведения о муравейниках отображены в виде точечного слоя, точки дифференцированы по цветам в соответствии с видовой принадлежностью муравьев. В экстенс карты не вошел одиночный муравейник *F. truncorum* на территории Мордовского заповедника, чьи границы практически сливаются с муравейником *F. polystena*. Исходя из данных картографирования, видно, что наиболее распространенными являются бурый (*F. fusca*) и рыжий (*F. rufa*) лесные муравьи (рис. 1).

Вторым шагом стало построение карты интенсивности распределения муравейников по республике

Таблица 1. Распределение лесов, образованных определенными породами, по классам бонитета

Показатель	Категории	Преобладающая порода			p
		<i>Betula pubescens</i>	<i>Populus tremula</i>	<i>Pinus silvestris</i>	
Класс бонитета леса	II класс бонитета	4 (22,2%)	0 (0,0%)	35 (70,0%)	<0,001
	III класс бонитета	11 (61,1%)	2 (100,0%)	15 (30,0%)	
	IV класс бонитета	3 (16,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	

Легенда

Плотность поселений *Formica*

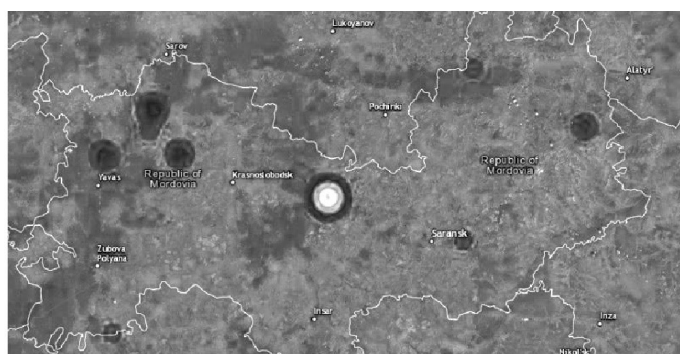


Рис. 2. Карта плотности популяций муравьев рода *Formica* в Республике Мордовия

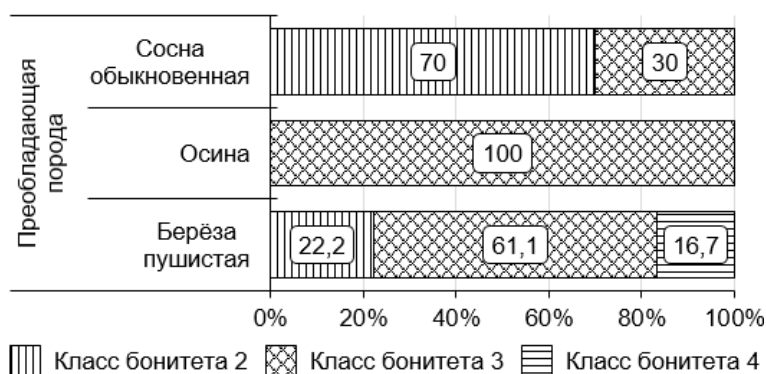


Рис. 3. Распределение лесов, образованных определенными породами, по классам бонитета

с помощью соответствующего инструмента ArcGIS. Карта имеет тепловую визуализацию, разными цветами показана различная плотность скоплений муравьев. За единицу измерения принято количество муравейников на 1 км². В результате было выявлено, что, несмотря на большое количество, поселения разбросаны по республике и имеют неравномерную структуру. В целом можно наблюдать относительно крупные скопления муравьев в Темниковском районе республики (что обусловлено расположением в этом районе Мордовского заповедника) и значимый комплекс в Краснослободском районе (рис. 2).

На завершающем этапе данные были подвергнуты статистической обработке на онлайн-платформе «СтатТех». При помощи данной платформы удалось опреде-

лить взаимосвязь между преобладающей древесной породой и классом бонитета леса (коэффициент статистической значимости составил $p < 0,001$), образованного данной породой. Согласно расчетам по критерию «хи-квадрат Пирсона», из трех лесообразующих пород (*Pinus silvestris* — сосна обыкновенная, *Betula pubescens* — береза пушистая, *Populus tremula* — осина) наибольшей продуктивностью на исследуемых локалитетах обладают сосновые леса — они преимущественно относятся ко II классу бонитета, наименее низкий бонитет — у березы пушистой (III–IV классы) (табл. 1, рис. 3).

Также была выявлена корреляция между видом муравья и способностью данного вида к комплексообразованию (при расчете критерия Пирсона значение p составило $p = 0,006$, что свидетельствует о взаимосвязи между

Таблица 2. Способность к комлексообразованию у разных видов муравьев рода *Formica*

Виды муравьёв	Тип поселения	
	комплекс, число поселений	одиночный муравейник, число поселений
<i>Formica aquilonia</i>	1 (100,0%)	–
<i>Formica cinerea</i>	–	3 (100,0%)
<i>Formica cunicularia</i>	–	2 (100,0%)
<i>Formica exsecta</i>	–	2 (100,0%)
<i>Formica fusca</i>	2 (7,4%)	25 (92,6%)
<i>Formica glauca</i>	–	1 (100,0%)
<i>Formica polyctena</i>	5 (71,4%)	2 (28,6%)
<i>Formica pratensis</i>	3 (37,5%)	5 (62,5%)
<i>Formica pressilabris</i>	1 (100,0%)	–
<i>Formica rufa</i>	6 (46,2%)	7 (53,8%)
<i>Formica sanguinea</i>	–	4 (100,0%)
<i>Formica truncorum</i>	–	1 (100,0%)
p	0,006	

Таблица 3. Распределение муравейников рода *Formica* по фитоценозам различной полноты

Показатель	Категории	Группа полноты леса (сомкнутость крон на 1 га)			U
		Me	Q ₁ — Q ₃	N (число муравейников)	
Тип поселения	комплекс	0,8	0,9–0,7	18	<0,001
	одиночный муравейник	0,8	0,9–0,7	52	

Таблица 4. Распределение муравейников рода *Formica* по фитоценозам различных классов бонитета

Показатель	Категории	Тип поселения		p
		комплекс, число поселений	одиночный муравейник, число поселений	
Класс бонитета леса	II класс бонитета	16 (88,9%)	33 (63,5%)	0,117
	III класс бонитета	2 (11,1%)	16 (30,8%)	
	IV класс бонитета	0 (0,0%)	3 (5,8%)	

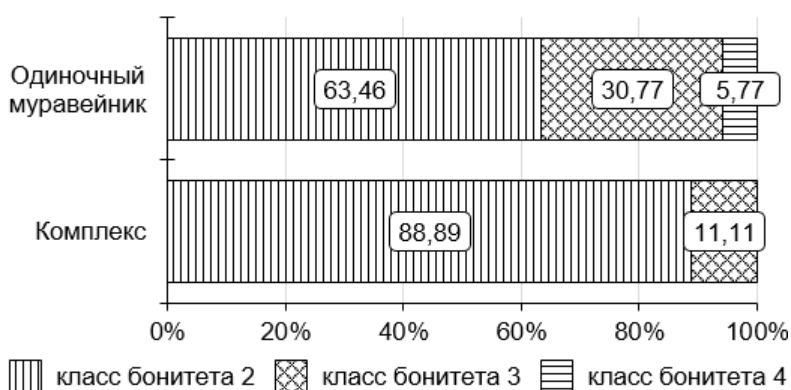


Рис. 4. Распределение муравейников рода *Formica* по фитоценозам различных классов бонитета

анализируемыми параметрами). Было обнаружено, что наиболее активными комплексобразующими видами являются малый (*F. polyclena*) и рыжий (*F. rufa*) лесные муравьи. Также был обнаружен один комплекс муравейников северного лесного муравья (*F. aquilonia*), более характерного для южно-таежной зоны Нижегородской области и, скорее всего, обосновавшегося в национальном парке «Смольный» после реакклиматизации (табл. 2).

При анализе зависимости способности муравьев к комплексообразованию от группы полноты леса (использовался метод U-критерия Манна–Уитни) также были выявлены статистически значимые различия (критерий составил $U < 0,001$). Больше число комплексов было зарегистрировано в относительно «разреженных» лесах группы полноты 0,7. Это объясняется тем, что муравьи чаще образуют комплексы не в полосах сгущения леса, а в т.н. «межполосье» — на границах лесорастительных зон, опушках, вырубках (табл. 3).

Напротив, при оценке возможной зависимости комплексообразования от класса бонитета корреляции между продуктивностью леса и количеством комплексов в данном локалитете обнаружено не было (при расчете критерия Пирсона коэффициент статистической значимости составил $p = 0,117$). Очевидно, данный показатель не влияет на плотность популяций муравьев и их тенденцией образовывать более крупные поселения (табл. 4, рис. 4).

Заключение

Комплексный анализ лесорастительных условий Республики Мордовия показал, что для региона характерны относительно разреженные, достаточно высокобонитетные хвойные и смешанные хвойно-мягколиственные леса, неравномерно заселенные муравьями рода *Formica*. Присутствие последних объясняется их

тяготением к определенным лесорастительным районам, включающим в себя естественные фитоценозы и ООПТ на территории республики. При картографировании структуры распределения муравейников были выявлены кластеры в районах, совпадающих с границами Мордовского государственного природного заповедника и национального парка «Смольный».

В свою очередь при статистической обработке данных была обнаружена взаимосвязь между лесорастительными условиями и структурой популяций муравьев. Так, образование комплексов муравейников разного размера характерно для межполосий, границ лесорастительных районов, характеризующихся меньшей полнотой леса. В хвойных лесах с преобладанием сосны комплексообразование отмечалось чаще, чем в березняках. При этом бонитет леса не оказывает столь значительного влияния на закономерности расселения муравьев.

Также настоящее исследование показало эффективность геоинформационных технологий в мониторинге состояния экосистем в целом и лесных сообществ в частности. Цифровое картографирование позволяет наблюдать динамику состояния леса в реальном времени и моделировать возможные изменения ситуации в будущем. Однако необходимо учитывать всю совокупность факторов при статистической обработке данных — рассмотрение отдельных параметров в отрыве друг от друга препятствует формированию объективной картины исследуемых условий.

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю — кандидату биологических наук, доценту кафедры ботаники и зоологии ННГУ Зрянину Владимиру Александровичу — за предоставленные данные и помощь в ходе исследовательской работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье: физико-географическое описание. М.: Издательство Академии Наук СССР, 1953. 263 с.
2. Исаченко Г.А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование: курс лекций. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1998. 112 с.
3. Ямашкин А.А., Борисов А.А., Ямашкин С.А., Зарубин О.А. Ландшафтно-экологическое зонирование Мордовии // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4 (58), ч. 1. С. 50–53. DOI: 10.23670/IRJ.2017.58.056.
4. Кашпор Н.Н., Мартынюк А.А., Желдак В.И., Сидоренков В.М., Трушина И.Г., Кудряшов П.В., Солонцов О.Н. Схема лесного районирования Российской Федерации // Лесной вестник. 2011. № 3. С. 17–24.
5. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А.В. Ступишина. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1964. 197 с.
6. Коноплева Е.Е. Структура и динамика комплексов муравейников северного лесного муравья *Formica aquilonia* (Hymenoptera, Formicidae) в разных лесорастительных условиях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 2–2. С. 407–412.
7. Зрянин В.А., Зрянина Т.А. Новые данные о фауне муравьев (Hymenoptera, Formicidae) Среднего Поволжья // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127, № 2. С. 226–240.

8. Зрянина Т.А. Значение зеленых зон в формировании городских мirmekокомплексов // Муравьи и защита леса: мат-лы XIII всерос. мirmekологического симпозиума. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 209–212.
9. Ручин А.Б., Зрянин В.А. К фауне муравьев (Hymenoptera: Formicidae) Республики Мордовия // Муравьи и защита леса: мат-лы XIV всерос. мirmekологического симпозиума. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 108–110.
10. Захаров А.А., Длусский Г.М., Горюнов Д.Н., Гилёв А.В., Зрянин В.А., Федосеева Е.Б., Гороховская Е.А., Радченко А.Г. Мониторинг муравьев Формика: информационно-методическое пособие. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 99 с.
11. Корочкина Н.И., Коноплева Е.Е., Зрянина Т.А. Популяционная структура *Formica aquilonia* (Hymenoptera, Formicidae) на границе бореальных и суббореальных ландшафтов в Поволжье // Зоологический журнал. 2014. Т. 93, № 4. С. 559–569.
12. Лесной план Республики Мордовия на 2019–2028 гг. [Электронный ресурс] // Официальный портал органов государственной власти Республики Мордовия. <https://e-mordovia.ru/gosudarstvennaya-vlast-rm/ministerstva-i-vedomstva/ministerstvo-prm/informatsiya-dlya-grazhdan/glava-iii-otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-realizatsii-meropriyatiy-po-osushchestvleniyu-planiru/>
13. Allen D.W. Focus on geodatabases in ArcGIS Pro. Esri Press, 2019. 260 p.
14. South A. R-Worldmap: a new R package for mapping global data // The R Journal. 2011. Vol. 3/1. P. 35–43.
15. Козлова А.А. Информационное обеспечение программы «Мониторинг Формика» на территории Среднего Поволжья // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. Оренбург, 2019. С. 261–267.
16. Белюченко И.С., Смагин А.В., Попок Л.Б., Попок Л.Е. Анализ данных и математическое моделирование в экологии и природопользовании. Краснодар: КубГАУ, 2015. 313 с.
17. Берлянт А.М. Математическая основа карт: учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2002. 70 с.
18. Романов М.Ф., Федоров М.П. Математические методы в экологии: учеб. пособие. М. — СПб.: Академия, 2004. 269 с.

© Козлова Анастасия Александровна (akatoo-nn@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского