

АНАЛИЗ ХОРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ ГРУППЫ *FORMICA RUFA* В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Козлова Анастасия Александровна

Аспирант, Нижегородский научно-исследовательский университет им. Н.И. Лобачевского
akatoe-nn@yandex.ru

ANALYSIS OF THE CHOROLOGICAL STRUCTURE OF THE *FORMICA RUFA* GROUP COMPLEXES IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION USING GEOINFORMATION SYSTEMS

A. Kozlova

Summary. This article discusses the application of geoinformation systems in the study of the spatial distribution of anthill complexes of the *Formica rufa* group in the Nizhny Novgorod region. Mapping and analysis were performed on the basis of the Russian geoinformation GIS software «Аксиом». When performing analytical operations, clusters of complexes were identified, partially geographically coinciding with certain forest-growing areas of the region, characterized by high completeness and reduced forest bonitet.

Keywords: red forest ants, anthill complexes, forest-growing zoning, GIS «Аксиом», spatial distribution, distribution polygons, overlapping layers.

Аннотация. В настоящей статье рассматривается применение геоинформационных систем в изучении пространственного распределения комплексов муравейников группы *Formica rufa* по Нижегородской области. Картографирование и анализ выполнялись на базе российского геоинформационного ПО ГИС «Аксиома». При выполнении аналитических операций были выявлены скопления комплексов, частично территориально совпадающие с определенными лесорастительными районами области, характеризующимися высокой полнотой и сниженным бонитетом леса.

Ключевые слова: рыжие лесные муравьи, комплексы муравейников, лесорастительное районирование, ГИС «Аксиома», пространственное распределение, полигоны распределения, перекрывание слоев.

Введение

Рыжие лесные муравьи (группа *Formica rufa*) отличаются способностью образовывать не одиночные муравейники, а комплексы муравейников различного масштаба (от малых к обширной). Способность данной группы муравьев образовывать комплексы предположительно обусловлена рядом факторов (ландшафтных, почвенных, лесорастительных, климатических и т. д.) на территории заселенных ими фитоценозов. В настоящем исследовании проводится проверка зависимости географического распределения комплексов муравейников от ландшафтных условий в лесных сообществах Нижегородской области).

Ранее проведенные исследования позволили предположить, что на границе фитоценозов, образованных на полесских ландшафтах в большей степени представлены «полосы сгущения», скопления крупных комплексов. Была создана картосхема их распределения по территории Среднего Поволжья. Тем не менее, причина их формирования в данный момент однозначно не определена.

В настоящей работе анализ пространственного распределения комплексов муравейников группы *Formica*

rufa проводится при помощи геоинформационных систем [1; 4]. Данный метод включает в себя не только цифровое картографирование населенных муравьями фитоценозов, но и аналитические операции, позволяющие выявить случайность или закономерность текущей картины их расселения. Обработка данных осуществляется в геоинформационном ПО «ГИС Аксиома».

Таким образом, в настоящем исследовании проводится проверка следующей гипотезы: комплексные поселения рыжих лесных муравьев распределены по растительным сообществам Нижегородской области не случайно, а в зависимости от принадлежности фитоценозов к определенным ландшафтным районам.

Физико-географическая характеристика района исследования

Нижегородская область — это одна из наиболее крупных центральных областей России. Ока и Волга разделяют территорию Нижегородской области на два, почти равных по величине физико-географических района: справа к берегам этих рек спускается северо-западный край Приволжской возвышенности, слева простираются низменные песчаные равнины. Территория Нижегородской области, находясь на стыке разных природных зон,

в целом имеет переходные черты, отличаясь значительным разнообразием природных условий. Они различаются по ландшафту, геологическим и климатическим условиям, по почвам, растительному покрову, животному миру. Несмотря на то, что природно-климатические условия сохранения экологического равновесия в Нижегородской области весьма разнообразны, они несут на себе большинство характерных черт, присущих регионам европейской части России. Принадлежность отдельных частей территории Нижегородской области к нескольким природным зонам обуславливает и вариативность параметров допустимого антропогенного воздействия на природную среду [2].

Общий рельеф Нижегородской области представляет собой волнистую, местами всхолмленную равнину, которая долинами рек Волги и Оки разделяется на две части — южную возвышенную и северную низменную. Коренное плато Заволжья по характеру представляет собой слегка волнистую равнину со сглаженными мягкими формами рельефа, полого наклоненную на юг в сторону р. Волги. Зоны активного карста приурочены к правобережью рек Волга и Ока и левобережью реки Ока. Наиболее значительные по площади участки активного карста расположены на юге и в центральной части области. В очень сложных условиях находятся территории крупнейшего химического центра страны — города Дзержинска и прилегающих к нему территорий. На левобережье реки Волги активные карстовые процессы отсутствуют (см. рис. 1) [11].

Большая часть Нижегородской области расположена в зоне смешанных (хвойно-мягколиственных) и широколиственных лесов на серых лесных, в меньшей степени дерново-подзолистых почвах. Фитоценозы северных районов области можно отнести к южной тайге, для них характерно преобладание дерново-подзолистого и подзолистого типов почв. Преобладающими лесообразующими породами являются хвойные (сосна обыкновенная, ель европейская), реже — лиственные. Кроме того, следует отметить наличие крупных лесных массивов в особо охраняемых природных территориях региона (Керженском заповеднике, Пустыньском, Тонкинском заказниках и т.д.) (см. рис. 2) [11].

Согласно Лесному плану Нижегородской области на 2019–2029 гг. и оценке состояния лесных фитоценозов региона Федеральным агентством лесного хозяйства по формам государственного лесного реестра ГЛР №2 и ГЛР № 5 (распределение лесных ресурсов по преобладающему типу породы, возрасту, группе полноты и классу бонитета леса), большинство растительных сообществ региона являются средневозрастными, высокополнотными (средний показатель сомкнутости кроны составляет 0,8–0,9) и средне-, реже низкобонитетными (3–4 классы продуктивности) [10].

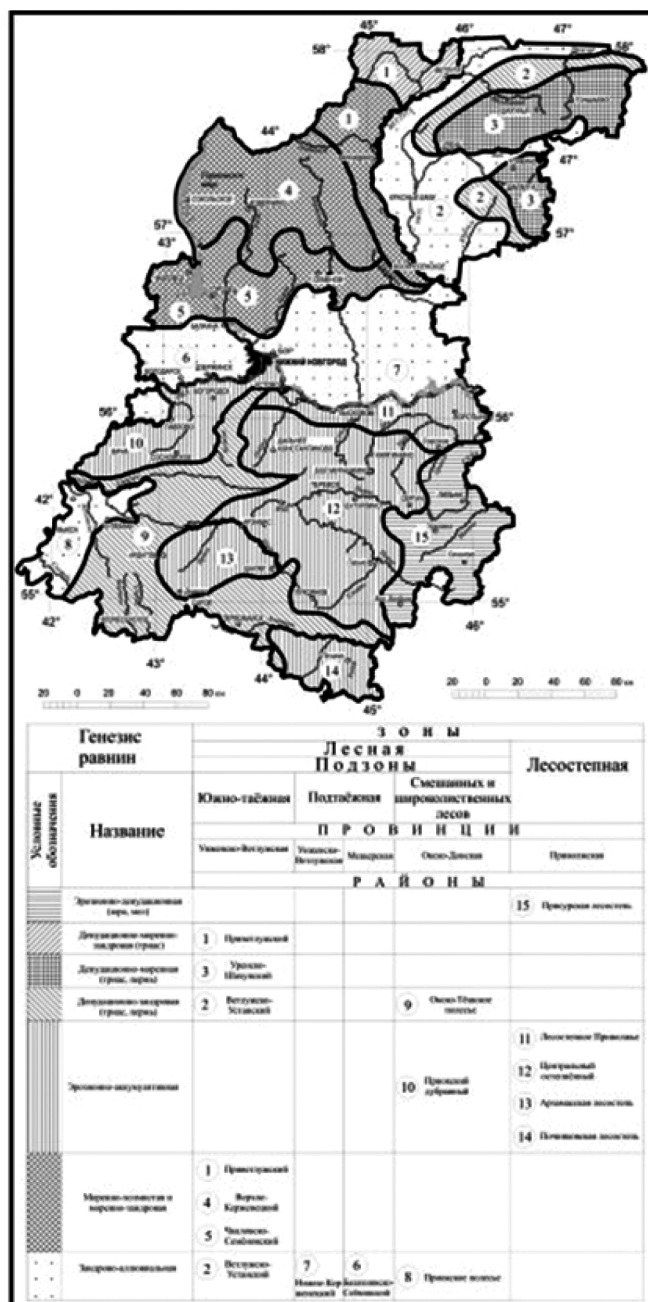


Рис. 1. Картограмма ландшафтного районирования Нижегородской области (Мининзон, 2023)

Такие лесорастительные условия можно назвать благоприятными для образования крупных комплексов муравейников, поскольку формирование комплексов может занимать более 10 лет и более типично для приспевающих лесов. Также состояние леса определяется в т.ч. ландшафтными и почвенными факторами, что оказывает влияние и на распределение комплексов в их пределах.

Материалы и методы

В качестве основного материала настоящего исследования послужили результаты полевых сборов (2005–

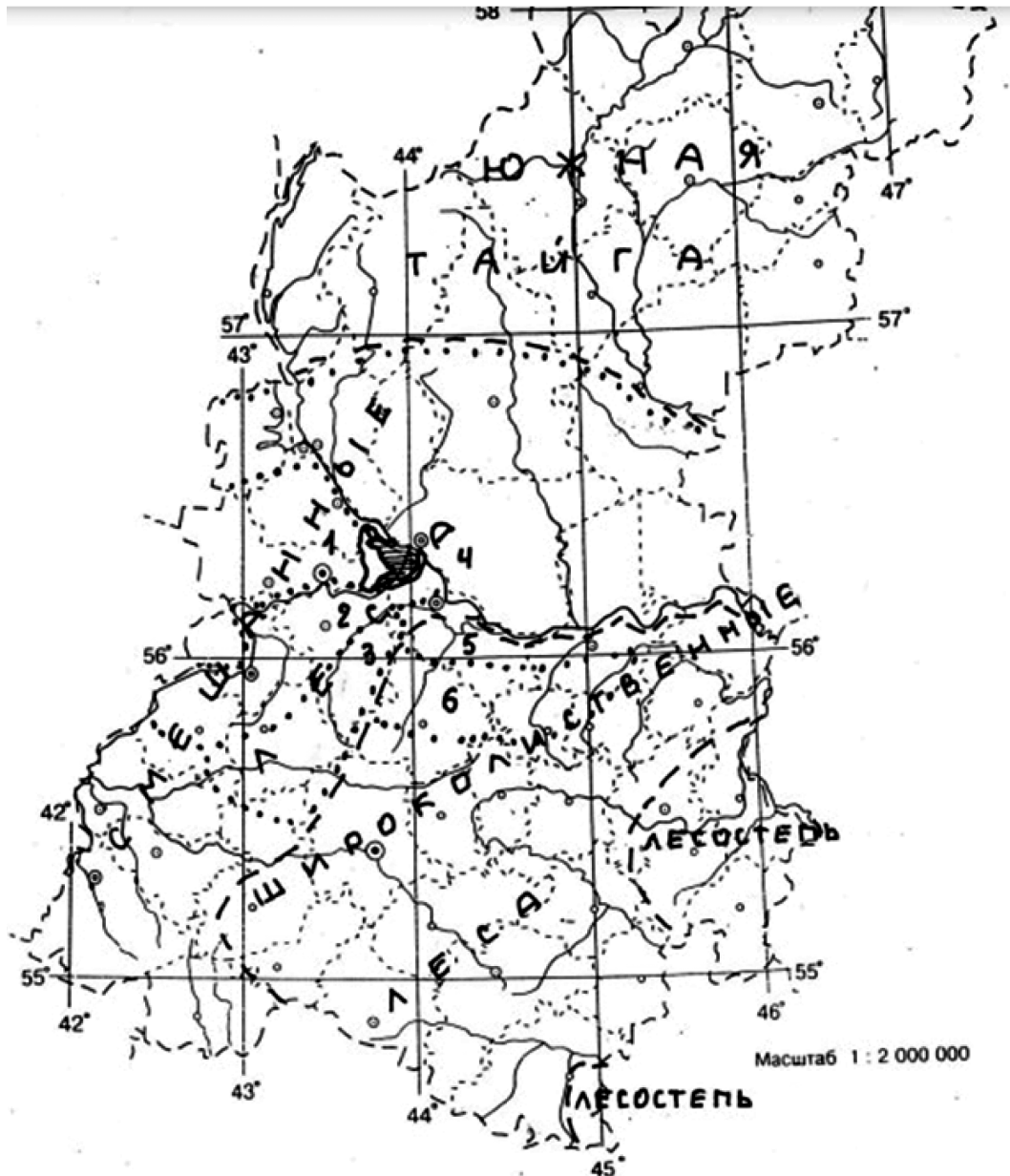


Рис. 2. Картограмма природного зонирования Нижегородской области (Мининзон, 2023)

2007, 2014, 2022 гг.) работников и студентов ННГУ [7; 8; 9; 12]. Были собраны данные по 4 видам муравьев — *Formica rufa*, *F. aqulonia*, *F. polyctena* и *F. lugubris*, представленные в виде 162 точек на цифровой карте, где каждой точке соответствует поселение разного размера. Применяется следующая градация размеров комплексов муравейников: малый (>10 муравейников), средний (10-30), крупный (<30) и обширный (<90) муравейников [6].

Точки, содержащие данные по каждому поселению, выгружаются в виде отдельного слоя на цифровую карту ПО «ГИС Аксиома» (см. рис. 3) [4]. В дальнейшем при помощи инструмента «Конвертация слоя» точки объединяются в полигоны, занимающие все заселенные муравьями районы Нижегородской области. Это необходи-

мо для получения визуальной картины распределения комплексов (более обширные полигоны соответствуют большим по размеру комплексам).

В дальнейшем на карту также экспортируются пространственные слои, содержащие физико-географические характеристики региона (см. предыдущий раздел) — границы природных зон, ландшафтных и почвенных районов Нижегородской области. Эти слои представлены полигонами уже в исходном виде, что облегчает поиск зависимости между географическими параметрами и распределением комплексов муравейников. Используя инструмент «Перекрытие слоев», можно обнаружить совпадение между локализацией крупного комплекса и его территориальной привязке

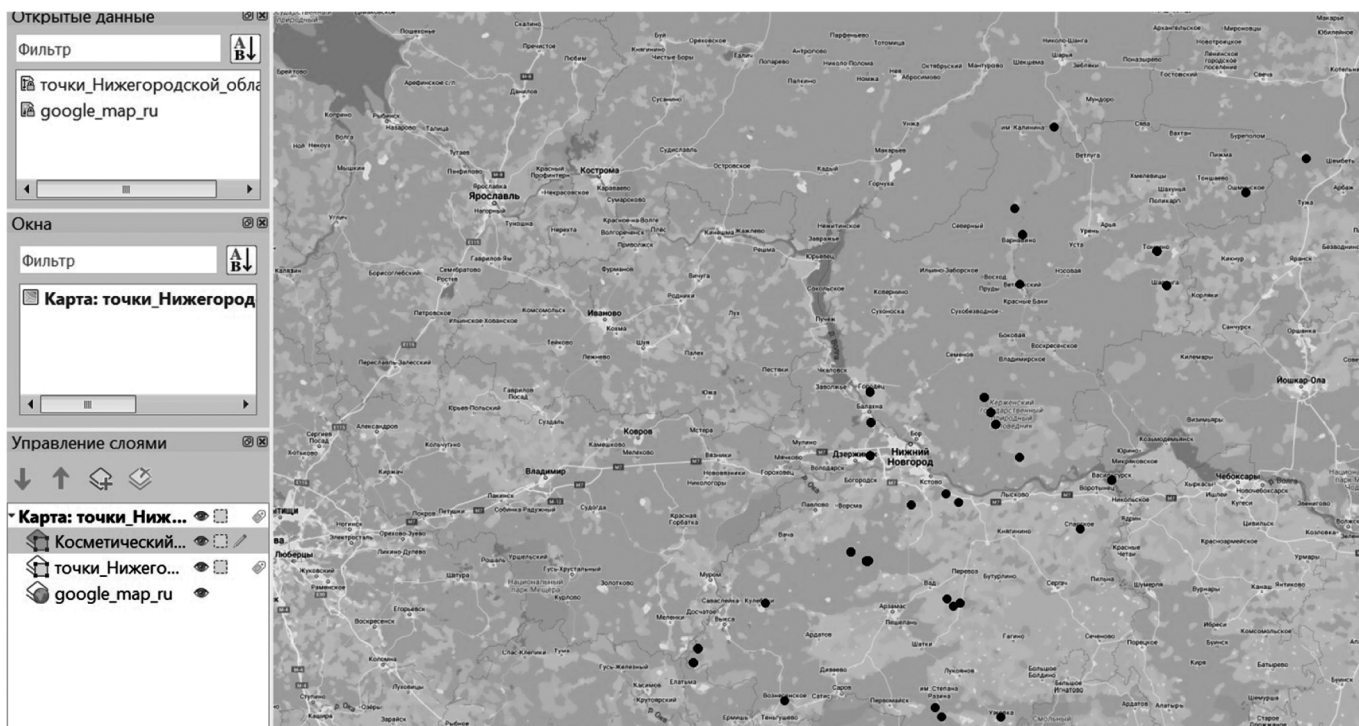


Рис. 3. Точечное распределение поселений группы *Formica rufa* на карте ПО «ГИС Аксиома»

к определенному лесорастительному, ландшафтному или почвенному району.

Проверка статистической достоверности данных проводится с помощью созданной двупольной таблицы, где в качестве определяющего параметра выступает исследуемый экологический фактор (тип ландшафта, тип почвы, возраст, полнота и бонитет леса) в искомом районе, в качестве зависимой переменной — количество крупных комплексов в этом же районе. Вычисления проводятся на базе платформы «СтатТех» с определением коэффициента статистической значимости. Для вывода о неслучайном распределении комплексов по Нижегородской области необходимо получение коэффициента статистической значимости p (различие между максимальным и минимальным количеством комплексов) не более $p \leq 0,05$ [3].

Результаты исследования

При картографировании комплексов муравейников Нижегородской области было обнаружено частичное наложение точек друг на друга ввиду близкого расположения комплексов.

Такие скопления точек обнаружены преимущественно на территории двух крупных ООПТ (Керженский государственный природный заповедник и Пустынский заказник). Такое расположение комплексов соответствует крупным лесным массивам с высокой полнотой леса (группы 0,8–0,9 по форме лесного реестра ГЛР № 5), что было выявлено при наложении точек на слой распределения растительного покрова Нижегородской области.

При таком анализе на карте отображается полигональный слой, отображающий интенсивность растительного покрова. Наиболее богатые лесами участки (открытые данные Федерального агентства лесного хозяйства, см. рис. 4).

Также на карте были построены полигоны, отражающие распределение точек по исследуемой территории. Согласно этой методике, каждой точке, отображающей комплекс муравейников, соответствует территория, отображаемая на карте в качестве полигона. Одиночным муравейникам или малым комплексам соответствуют разрозненные точки в пределах одного полигона большой площади. Крупные комплексы, напротив, отображаются в виде большого количества точек внутри одного полигона меньшей площади или на стыке нескольких.

Такую картину можно наглядно наблюдать в Арзамасском районе Нижегородской области — там занятый точками полигон соответствует комплексам на территории Пустынского заказника (см. рис. 5). Также крупные комплексы муравейников можно наблюдать на территории Керженского государственного заповедника, в Краснобаковском и Воскресенском районах области.

Меньшие по размеру комплексы обнаруживаются в более северных районах Нижегородской области. На карте они соответствуют одиночным точкам, входящим в более обширные полигоны. Кроме того, данные точки не входят в полигональный слой, содержащий крупные лесные массивы и их стыки — точки находятся в «разорванных» зонах карты. Такая картина соответ-

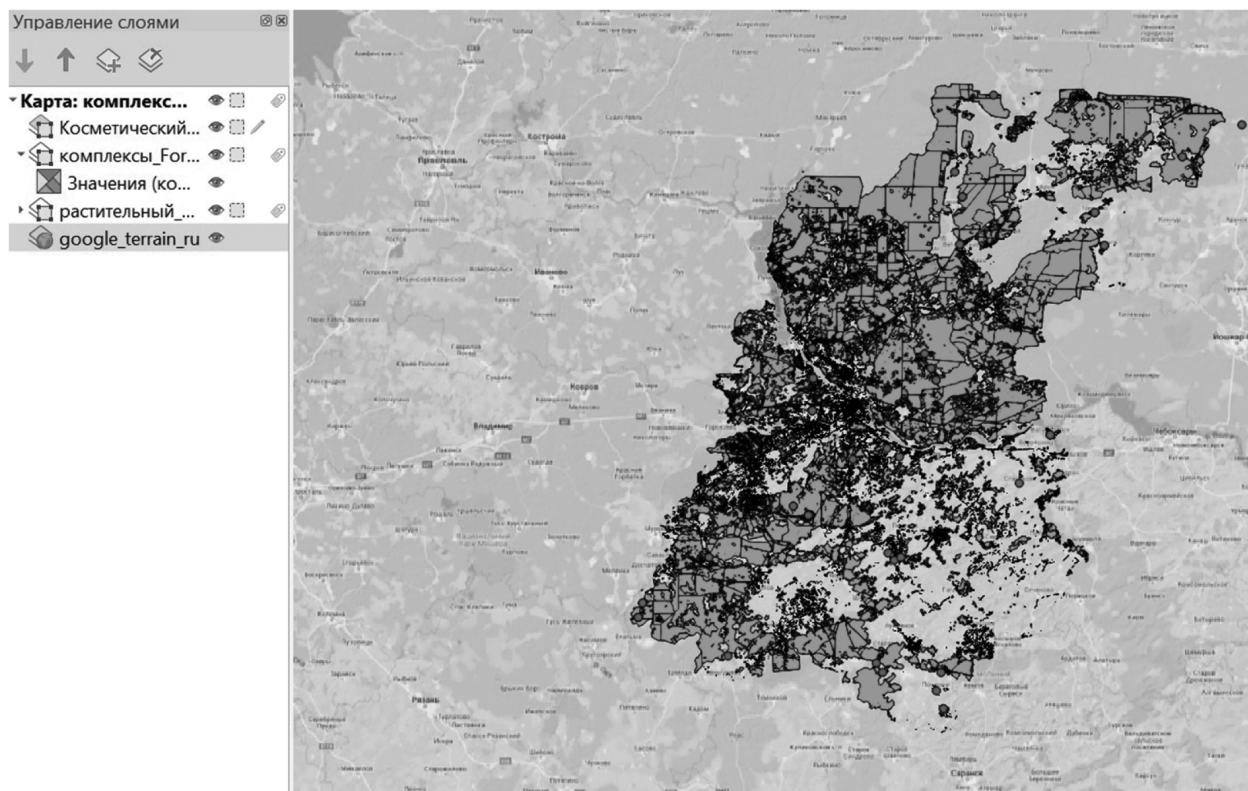


Рис. 4. Распределение комплексов муравейников группы *Formica rufa* по лесным массивам Нижегородской области

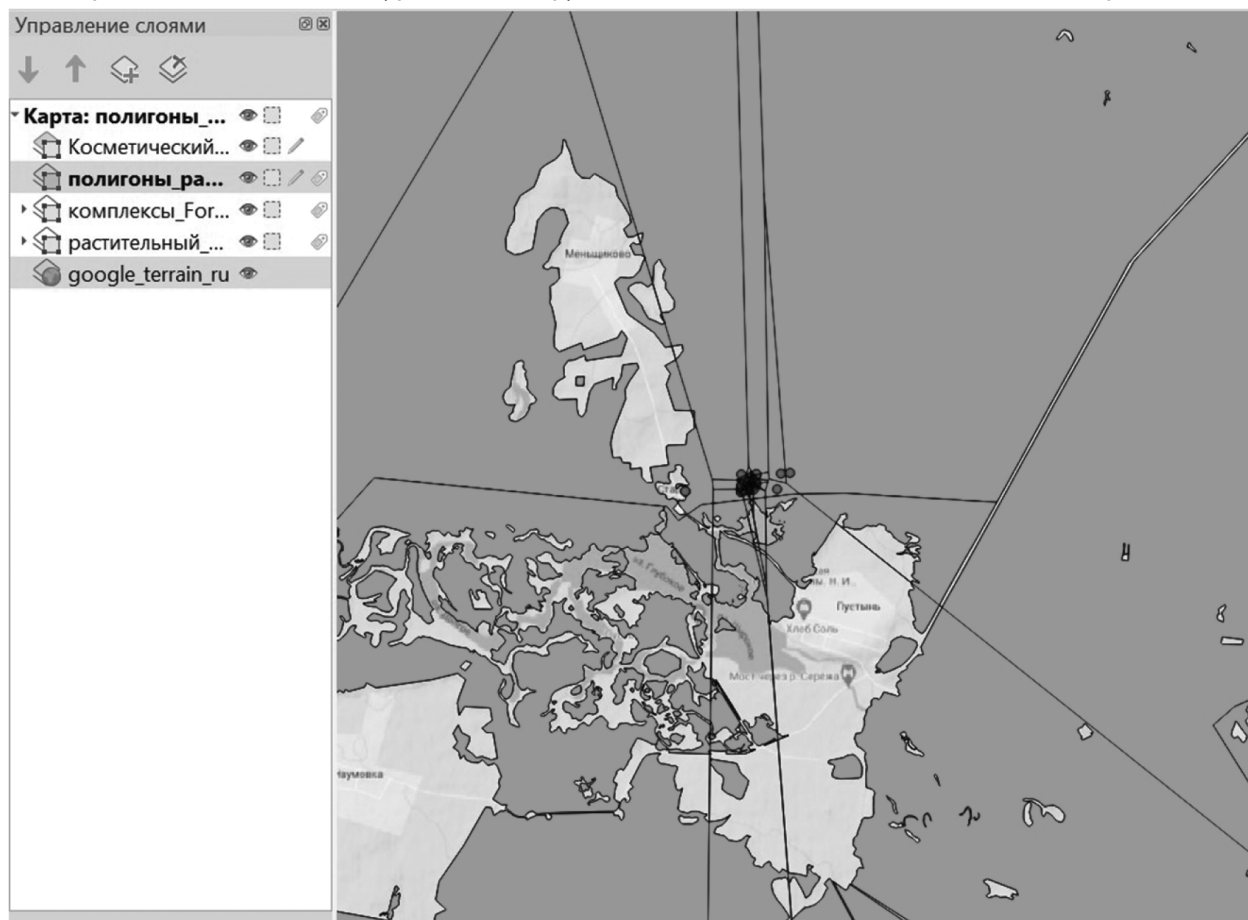


Рис. 5. Пустынные комплексы муравейников группы *Formica rufa* внутри полигонов распределения

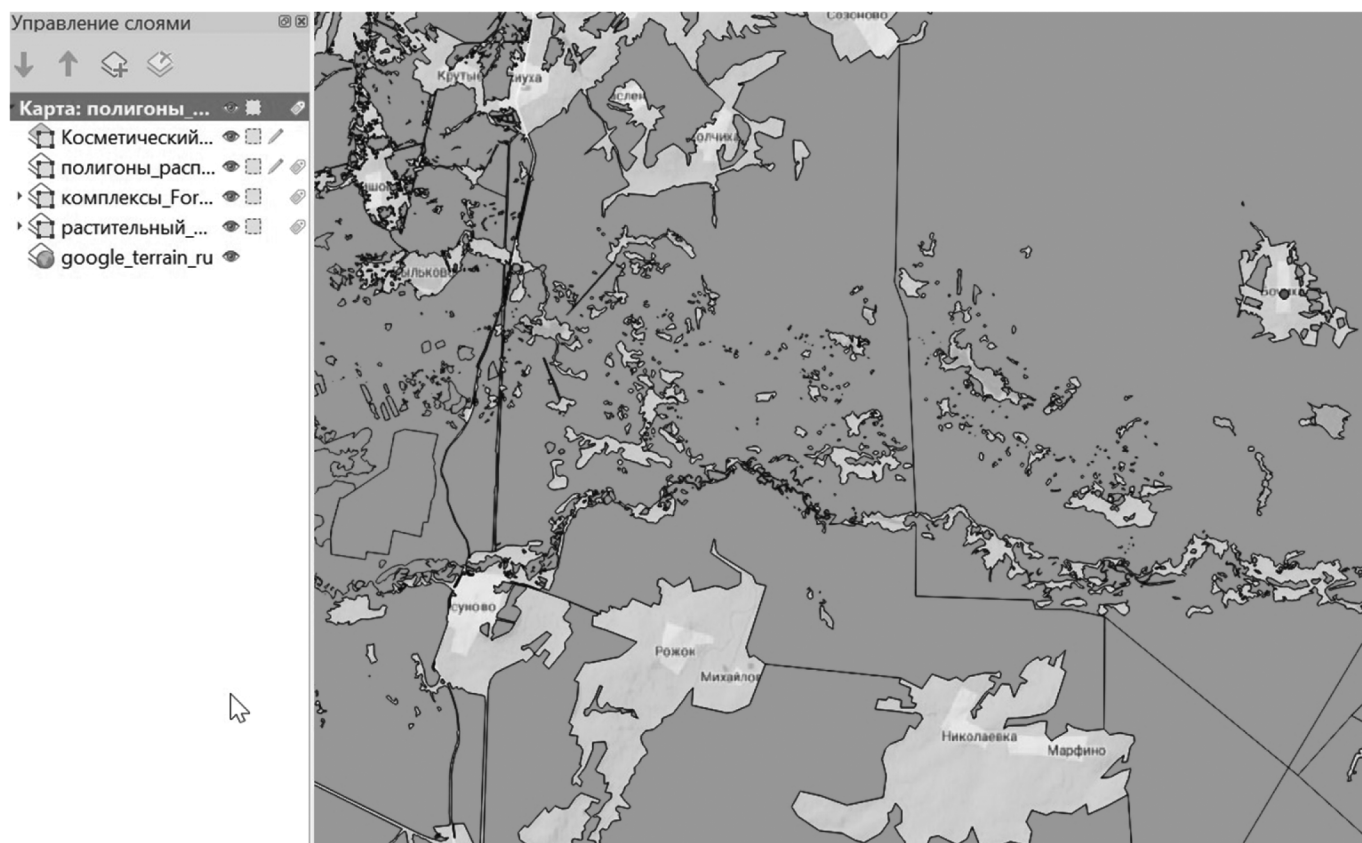


Рис. 6. Меньший по размеру комплекс муравейников в пределах обширного полигона распределения

стует, например, комплексу муравейников в окрестностях д. Бочиха Сосновского района Нижегородской области (см. рис. 6).

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась на платформе «СтатТех» методом подсчета коэффициента статистической значимости. Был выполнен поиск зависимости пространственного распределения комплексов муравейников различного размера от типа ландшафта, на котором был обнаружен комплекс. Также проверялась случайность или закономерность распределения комплексов по ландшафтным районам Нижегородской области.

Загруженные в базу данные подразделялись на несколько категорий. В качестве основного показателя был выбран тип поселения муравьев группы *Formica rufa*. Данный показатель может иметь два категориальных значения — поселения в составе крупных комплексов либо одиночные. В данном случае в выборку одиночных входят также муравейники в составе малых (<10 гнезд) комплексов. В качестве зависимой переменной был выбран тип ландшафта — полесский или опольный — и ландшафтный район, в котором комплекс был обнаружен. Названия и нумерация ландшафтных районов соответствуют зонированию по Миннинзону.

В результате была выявлена прямая зависимость размера обнаруженных комплексов муравейников от типа ландшафта — подавляющее большинство комплексов зарегистрированы на территориях с полесскими ландшафтами, коэффициент статистической значимости p составил $<0,001$ (см. табл. 1).

Таблица 1.

Анализ показателя «Тип поселения» в зависимости от показателя «Тип ландшафта»

Показатель	Категории	Тип ландшафта		p
		опольный	полесский	
Тип поселения	В составе комплекса	3 (25,0)	145 (96,7)	$< 0,001^*$
	Одиночное поселение	9 (75,0)	5 (3,3)	

* — различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$)

При анализе случайности или закономерности распределения комплексов муравейников группы *Formica rufa* от принадлежности к ландшафтным районам также были выявлены статистически значимые закономерности — большая часть крупных обнаружена в районах, соответствующих Арзамасской лесостепи и Нижне-Керженецкому району согласно районированию Миннин-

Таблица 2.

Анализ показателя «Тип поселения» в зависимости от показателя «Район» (по: Миннинзон, 2023)

Показатель	Категории	Район					p
		Арзамасская лесостепь	Верхне-Керженецкий	Ветлужско-Устанский	Нижне-Керженецкий	Приокский дубравный	
Тип поселения	В составе комплекса	133 (97,8)	0 (0,0)	1 (50,0)	14 (82,4)	0 (0,0)	p = 0,012
	Одиночное	3 (2,2)	4 (100,0)	1 (50,0)	3 (17,6)	3 (100,0)	

* — различия показателей статистически значимы (p < 0,05)

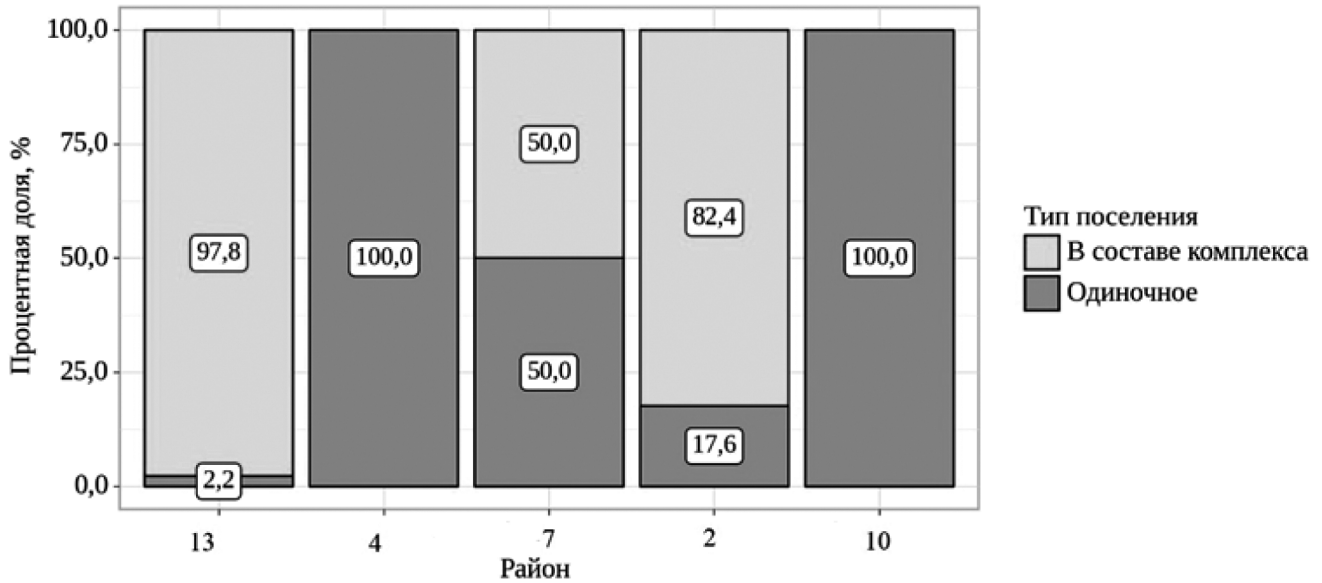


Рис. 7. Анализ показателя «Тип поселения» в зависимости от показателя «Ландшафтный район»

Нумерация районов (по: Миннинзон, 2023): 2 — Нижне-Керженецкий, 4 — Верхне-Керженецкий, 7 — Ветлужско-Устанский, 10 — Приокский дубравный, 13 — Арзамасская лесостепь

зона, коэффициент статистически значимых различий составил $p = 0,012$ (см. табл. 2, рис. 7).

Заключение

В результате проведенного исследования было выявлено, что распространение рыжих лесных муравьев (группа *Formica rufa*) в Нижегородской области и их способность к комплексообразованию определяется совокупностью факторов, включающих в себя ландшафтное, лесорастительное и климатическое районирование. Для получения объективной картины эти факторы не могут рассматриваться обособленно друг от друга.

Тем не менее, в ходе геоинформационного анализа карты распределения комплексов муравейников было подтверждено, что тип ландшафта является одним из критериев, непосредственно влияющих на географическое положение и размер комплексов. Так, полесские ландшафты более благоприятны для формирования крупных комплексов по сравнению с опольными — это наглядно отображается на карте на слое лесного покрытия Нижегородской области — точки, которым соответ-

ствуют крупные комплексы, входят в обширные лесные массивы или находятся на их стыках.

Построение распределительных полигонов дало возможность сопоставить границы фитоценозов, прилегающих к комплексам, с границами ландшафтных районов. Так, Арзамасская лесостепь и Нижне-Керженецкий районы пересечены полигонами, в которые входит большее количество картографических точек, соответствующих крупным комплексам (в Арзамасской степи речь может идти и об обширных комплексах, охватывающих >90 муравейников группы *Formica rufa*).

Статистическая обработка данных также подтверждает корреляцию между типом ландшафта и принадлежностью обнаруженных на данном ландшафте муравейников к крупным комплексам. Было выявлено что границы ландшафтных районов частично совпадают с границами комплексов муравейников рыжих лесных муравьев в Нижегородской области.

Таким образом показано, что анализ с помощью геоинформационных систем является эффективным

и статистически достоверным методом мониторинга структуры популяций рыжих лесных муравьев, а также потенциально применим и в оценке динамики популяций. Экстент цифровой карты возможно периодически пополнять новыми геоданными для создания более подробных карт, а также вносить уточняющие сведения

(число муравейников, число особей в каждом муравейнике, видовой состав комплексов и т.д.) в уже имеющую информацию о каждой точке — это позволит анализировать иные закономерности, оказывающие влияние на распределение комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Аксиома-ГИС, версия 2.3.»: Руководство пользователя // М: ООО «Эсти», 2019. 287 с.
2. Асташин А.Е., Синцова В.С., Никитина О.А., Самойлов О.В., Бахирева М.В. Ландшафтно-рекреационный анализ территории Краснобаковского района Нижегородской области // Н. Новгород: Поволжье, 2014. 60 с.
3. 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.
4. Варущенко С.С. Отечественная геоинформационная система «Аксиома ГИС» // Геодезия и картография, 2015. Спецвыпуск, с. 32–33.
5. Ерунцова Е.Р. Использование геоинформационных систем в экологии и природопользовании // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и образования: теоретические и прикладные аспекты». Нефтекамск, 2018. С. 181–185.
6. 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. // М.: КМК. 2013. 99 с.
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. Иванова Т.И. Популяционная изменчивость рыжих лесных муравьев (Hymenoptera, Formicidae) Узоло-Керженского района. Выпускная квалификационная работа на базе кафедры ботаники и зоологии Института биологии и биомедицины ННГУ. Нижний Новгород, ННГУ, 2016.
9. 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. Н. Новгород, 2010. № 2. С. 407–412.
10. Лесной план Нижегородской области на 2019–2029 гг. Федеральное агентство лесного хозяйства, 2018 — <https://docs.cntd.ru/document/465587408>
11. Миннинзон И.Л. Ботаническая география Нижнего Новгорода // Н. Новгород: НОНО, 2023. 220 с.
12. Соболева (Корочкина) Н.И. Дорожная система рыжих лесных муравьев (группы *Formica rufa*) в условиях рекреационного пресса // Зоол. журнал. 2010. Т. 89, № 12. С. 1468–1476.

© Козлова Анастасия Александровна (akatoe-nn@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»