

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN ASSESSING THE STATE OF FOREST COMMUNITIES IN THE MIDDLE VOLGA REGION

A. Kozlova

Summary. The present study was conducted in order to show the possibility of using geoinformation technologies (methods of digital mapping and analysis of mapped data) in monitoring the state of forest communities. Thus, the Middle Volga region is a complex of territories heterogeneous in forest conditions and serving as a habitat for a number of ant species used in this work as bioindicators. The ability of red forest ants to form complexes in phytocenoses of a certain type can provide information about the state of the forest, its age characteristics, productivity, soil conditions on the territory of the phytocenosis. Thus, the results of this study are an example of the use of geoinformation systems in environmental monitoring of specific regions and can form the basis of environmental protection activities of protected areas associated with these subjects of the Russian Federation.

Keywords: geoinformation systems, digital mapping, Middle Volga region, phytocenoses, red forest ants.

Козлова Анастасия Александровна

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

Аннотация. Настоящее исследование проведено с целью показать возможность применения геоинформационных технологий (методы цифрового картографирования и анализа картографируемых данных) в мониторинге состояния лесных сообществ. Так, Среднее Поволжье представляет собой комплекс территорий, разнородных по лесорастительным условиям и служащий местообитанием для ряда видов муравьев, используемых в данной работе в качестве биоиндикаторов. Способность рыжих лесных муравьев образовывать комплексы в фитоценозах определенного типа может дать информацию о состоянии леса, его возрастных особенностях, продуктивности, почвенных условиях на территории фитоценоза. Таким образом, результаты данного исследования являются примером применения геоинформационных систем в экологическом мониторинге конкретных регионов и могут лечь в основу природоохранной деятельности ООПТ, приуроченных к данным субъектам Российской Федерации.

Ключевые слова: геоинформационные системы, цифровое картографирование, Среднее Поволжье, фитоценозы, рыжие лесные муравьи.

Введение

Растительные сообщества представляют собой комплекс древообразующих пород различного видового, возрастного и бонитетного состава, приуроченный к определенным ландшафтным и почвенным условиям и являющийся средой обитания многочисленных видов животных. Отдельные таксономические группы обитателей фитоценозов, реагирующие на изменения лесорастительных условий, можно использовать в качестве биоиндикаторов. Особенности пространственного распределения и динамики их популяций дают возможность оценить состояние древостоя, почвы, общую благоприятность данной среды для конкретных видов.

В настоящем исследовании в роли биоиндикаторов выступают муравьи подрода *Formica* s.str. (*Hymenoptera*, *Formicidae*), населяющие южнотаеж-

ные, лиственные и лесостепные фитоценозы Поволжья. Особенности их расселения по лесным массивам оцениваются в контексте тяготения каждого вида к сообществам, образованным определенным типом древесных пород разного возраста, группы полноты и класса бонитета (продуктивности) леса. Предполагается, что леса, образованные спелыми и приспевающими категориями древостоя, способствуют образованию более крупных скоплений муравейников (далее — крупных комплексов) [3] по сравнению с молодыми, низкополнотными сообществами, несмотря на более высокую продуктивность последних. Вероятно, это объясняется длительностью процесса образования комплексов муравейников на определенной территории.

Оценка состояния фитоценозов Поволжья и его взаимосвязи с географическим распределением популяций муравьев по лесным массивам регионов проводилась с помощью геоинформационных систем



Рис. 1. Картохема регионов Поволжья

(далее — ГИС) [1;8] методом цифрового картографирования и анализа картографируемых данных с помощью инструментов платформы ArcGIS.

Характеристика района исследования

Поволжье — территория, примыкающая к среднему и нижнему течению Волги или близко от нее расположенная и экономически тяготеющая к ней. В природном отношении иногда к Поволжью относят также местности, находящиеся в верхнем течении Волги (от ее истоков до устья Оки).

Разделение Волжского бассейна на верхнюю, среднюю и нижнюю Волгу существует в географической литературе, по меньшей мере, с середины XIX в. Термины «Верхняя Волга», «Среднее Поволжье», «Нижнее Поволжье» широко используется в настоящее время.

Между тем, в различных отраслях знания, трактуются эти термины с определенными различиями [12]. Так, гидрологи разделяют течение Волги на верхнюю, среднюю и нижнюю части. К верхней Волге они относят отрезок волжской долины от истоков реки на Валдайской возвышенности до впадения в Волгу р. Оки у г. Нижнего Новгорода. Среднее течение Волги расположено между устьями рек Ока и Кама — двух крупнейших притоков Волги. Нижняя Волга, согласно гидрологам, начинается от устья Камы и заканчивается дельтой, впадающей в Каспийское море (см. рис. 1).

Территория Среднего и Нижнего Поволжья лежит на восточных участках Русской платформы и состоит из нескольких структурных элементов. Наиболее обширной является область Волжско-Камской антеклизы, в которую входят территории Приволжской возвышенности, Низменного Заволжья и Высокого Заволжья.

Прикаспийская синеклиза занимает области южнее г. Саратова. В её структуре обнаружены обширные следы прогиба плиты, характеризующиеся высокими мощностями осадочных отложений [9].

Почвенный покров Поволжья отличается разнообразием. На равнинных участках почвы распространяются в широтном направлении. По мере приближения к Каспийскому морю почвенные зоны приобретают концентрическую конфигурацию. Наряду с зональными типами почв широкое развитие имеют интразональные (интразональность связана с литологией) [10]. Основными типами почв, представленными в исследуемых регионах Среднего Поволжья, можно назвать подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные, в меньшей степени — аалювиальные.

Лесорастительное районирование Среднего Поволжья охватывает зону южной тайги (северные районы Нижегородской области), смешанных и широколиственных лесов (большая часть Нижегородской области, республик Чувашия, Марий Эл, Татарстан, отдельные районы Самарской области). На границе с Нижним Поволжьем, по направлению к Саратовской области, фитоценозы представлены преимущественно лесостепями [6].

В настоящем исследовании проводится оценка лесорастительных условий (преобладающий тип и средний возраст лесобразующих пород, полнота и бонитет леса) и их влияние на географическое распределение популяций биоиндикаторов в Нижегородской, Самарской областях, республиках Марий Эл, Мордовия и Чувашия.

Материалы и методы исследования

Полевые сборы по видам-биоиндикаторам

Материалами исследования послужили результаты полевых сборов 2005–2021 г. на территории Нижегородской области, республик Марий Эл, Мордовия, Чувашия и Татарстан. Данные собирались преимущественно сотрудниками и студентами кафедры ботаники и зоологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, а также сотрудниками особо охраняемых природных территорий, информация по которым легла в основу настоящего исследования [2;4;5;7;11].

Всего было обнаружено 91 поселение рыжих лесных муравьев, относящихся к следующим видам: *Formica rufa* (рыжий лесной муравей), *F. polyctena* (малый лесной муравей), *F. aquilonia* (северный лесной муравей), *F. pratensis* (луговой муравей), *F. lugubris* (волосистый лесной муравей) и *F. truncorum*

(красноголовой муравей). Распределение гнезд по изучаемым регионам Среднего Поволжья преимущественно неоднородно, что впоследствии показано на цифровой карте ArcGIS.

Оценка количественных показателей

Сведения о лесных покровах ООПТ исследуемых регионов предоставлены дирекциями соответствующих организаций и открытыми данными Федерального агентства лесного хозяйства (распределение лесного фонда по форме ГЛР № 5) за 2022 г.

Форма ГЛР № 5 включает в себя следующие параметры:

- ◆ тип лесобразующей породы (хвойная, твердолиственная, мягколиственная);
- ◆ возрастная группа лесобразующей породы (молодняки, средневозрастные, спелые и приспевающие);
- ◆ группа полноты леса (степень сомкнутости кроны на 1 га леса, оценивается в долях единицы);
- ◆ класс бонитета леса (степень продуктивности леса, оценивается от I класса — наивысший бонитет до V — наименьшая продуктивность леса на 1 га).

Форма ГЛР опубликована на официальном Интернет-ресурсе Федерального агентства лесного хозяйства и заполнена отдельными данными по каждому региону. В дальнейшем количественные данные, отображенные в форме, выводятся на интерактивную цветовую карту [16].

Картографирование данных

Визуализация данных о состоянии лесных покровов регионов Поволжья и конкретных лесных массивов, где были обнаружены комплексы, осуществлялась при помощи инструментов платформы Google Earth (спутниковые изображения, позволяющие оценить густоту и равномерность распределения лесных массивов) и картографического сервиса ArcGIS Online [13] (для создания комплексной карты фитоценозов Среднего Поволжья и сопредельных регионов).

ArcGIS представляет собой полную систему, которая дает возможность собирать, преобразовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию [14]. В настоящей работе платформа применялась для картографирования комплексов и малых поселений муравьев *Formica* s. str. Данные были представлены в виде линейного (границы регионов Среднего и Нижнего Поволжья) и точечного (информация о найденных муравейниках) слоев.

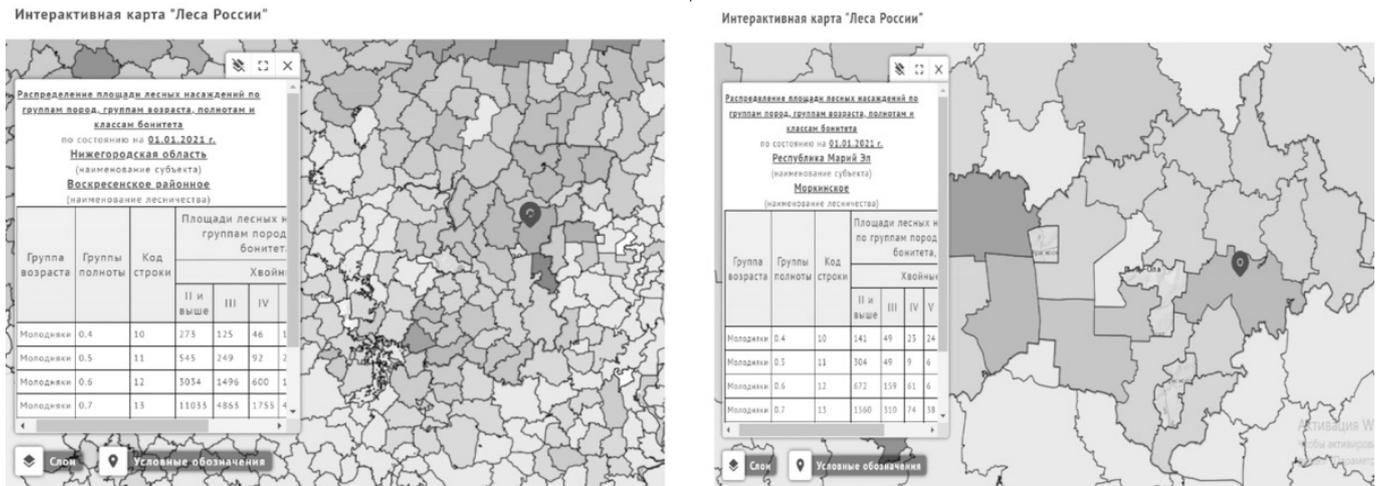


Рис. 2. Вывод на интерактивную карту данных из формы ГЛР № 5 по отдельным лесничествам регионов Среднего Поволжья

Для получения детальной информации о структуре комплексов в настоящем исследовании был проведен анализ плотности поселений муравьев *Formica s. str.* в заданных регионах с помощью инструмента «Подсчет плотности» [15]. Данная опция позволяет классифицировать картографические объекты на классы плотности 1–10, за единицу измерения принято количество муравейников на км² и подтвердить либо опровергнуть первоначальные сведения о величине обнаруженного комплекса (более крупные комплексы соответствуют более высокому классу плотности на карте).

Наиболее точные сведения о пространственном распределении комплексов муравейников можно получить с помощью инструмента «Подсчет горячих точек» [16]. Этот алгоритм предусматривает деление исследуемой территории на квадраты (размер стороны квадрата регулируется масштабом карты) и подсчет точек в одном квадрате. При текущем экстенде карты (регионы Поволжья) и количестве точек со скоплениями муравейников сторона квадрата составляет 32 км, необходимое количество точек в одном квадрате — 4–6. Таким образом, количество «горячих» точек на карте соответствует количеству крупных комплексов муравейников на исследуемой территории.

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась на онлайн-платформе StatTech (Россия). Это сервис статистического анализа, позволяющий рассчитывать случайность или закономерность полученных результатов. Табличные данные формата *xls, ставшие основой для цифровой карты, были загружены на платформу и разделены по категориальному признаку.

В качестве независимой переменной рассматривался тип фитоценоза, оценка состояния которого проводилась с помощью биоиндикаторов, в качестве зависимой переменной — число комплексов муравейников, образованных разными видами муравьев подрода *Formica s. str.* В дальнейшем рассчитывалось соотношение количества комплексов в хвойных и лиственных фитоценозах, которые в случае достоверности данных должны соответствовать критерию статистической значимости $p < 0.05$. В случае несоответствия полученных данных критерию статистической значимости можно говорить об отсутствии прямой корреляции между видом муравья и типом растительного сообщества [17].

Результаты исследования

При оценке лесорастительных условий на исследуемых территориях по формам ГЛР № 5 было выявлено, что подавляющее большинство фитоценозов представлено массивами насаждений хвойных и хвойно-мягколиственных, значительно реже — твердолиственных пород, отличающихся высокой полнотой (плотность стояния на 1 га около 0,7–0,9 в долях единицы) и высоким либо средним бонитетом (II–III классы продуктивности) (см. рис. 2).

Результаты картографического анализа показывают неравномерность распределения хвойных и мягколиственных пород и неизбежно следующее за этим гетерогенное распределение комплексов муравейников по исследуемым регионам. Известно, что часть лесных массивов Нижегородской, Самарской областей, республик Марий Эл, Чувашия и сопредельной республики Мордовия находятся на особо охраняемых природных территориях (далее — ООПТ). Визуализация на карте

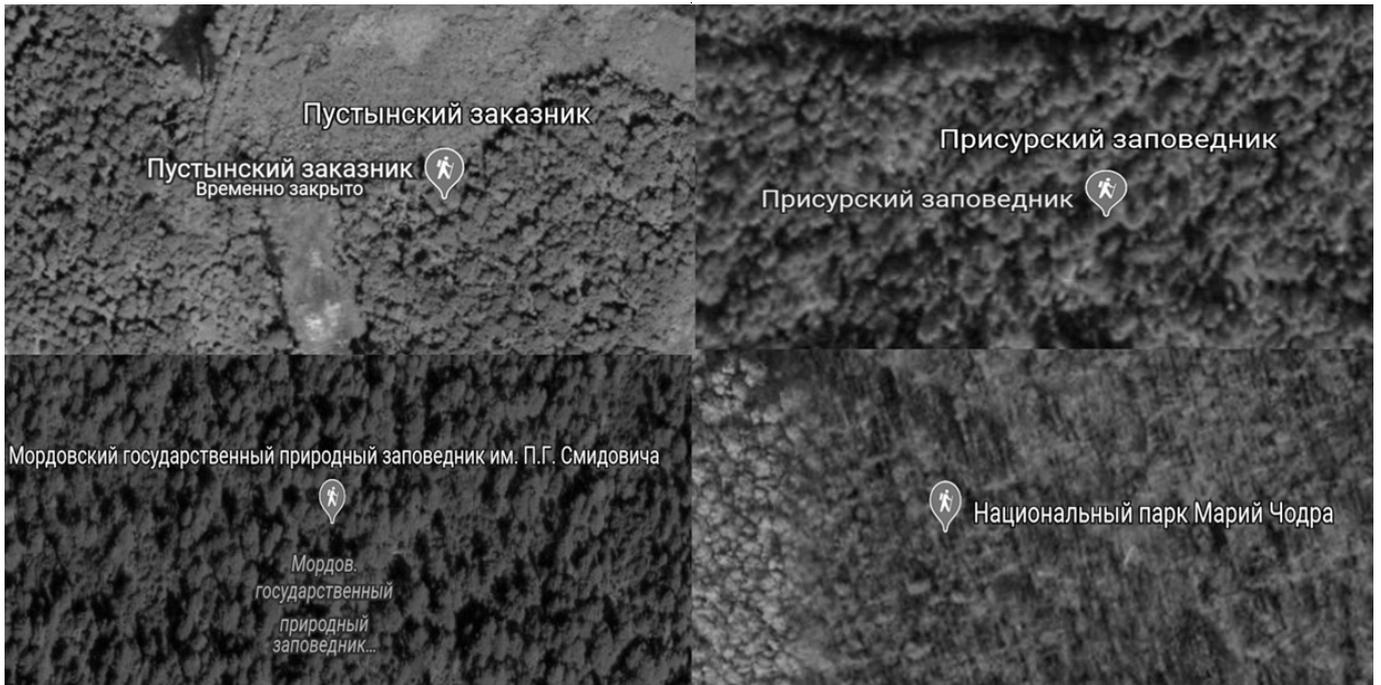


Рис. 3. Спутниковые изображения массивов древостоя в различных ООПТ Среднего Поволжья и сопредельных территорий

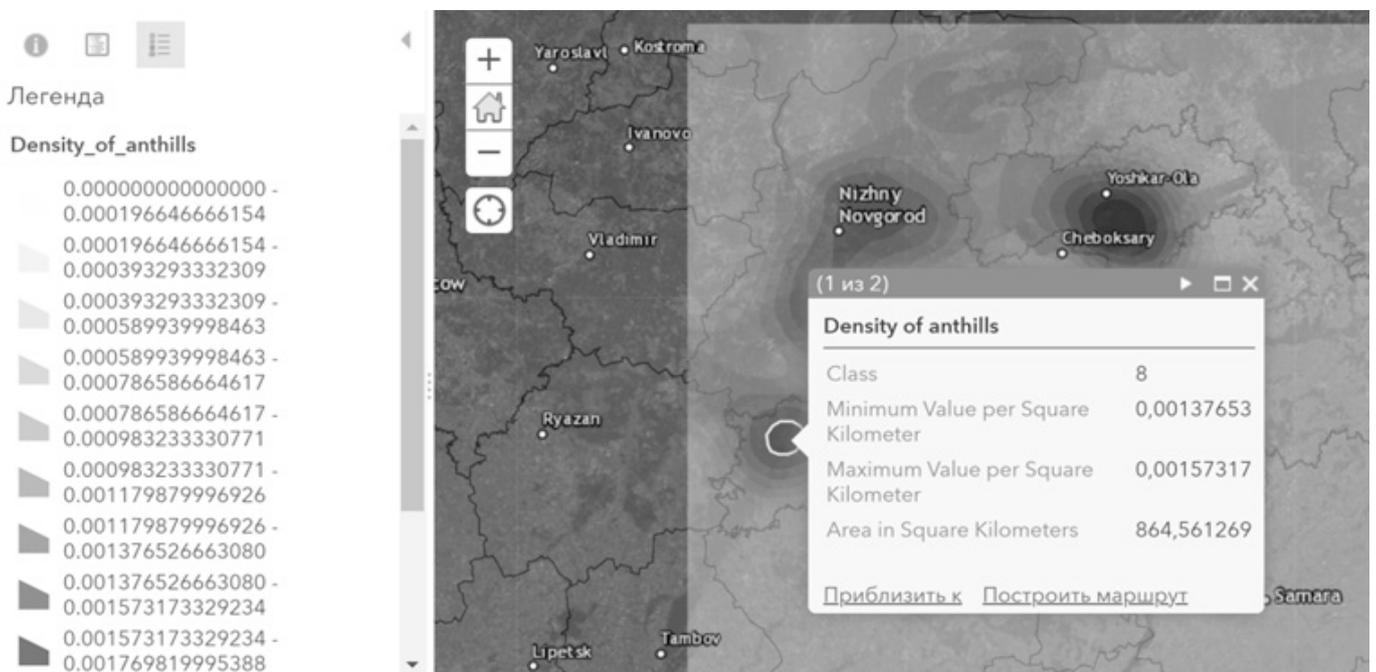


Рис. 4. Оценка плотности популяций муравьев *Formica* s.str. в фитоценозах Среднего Поволжья

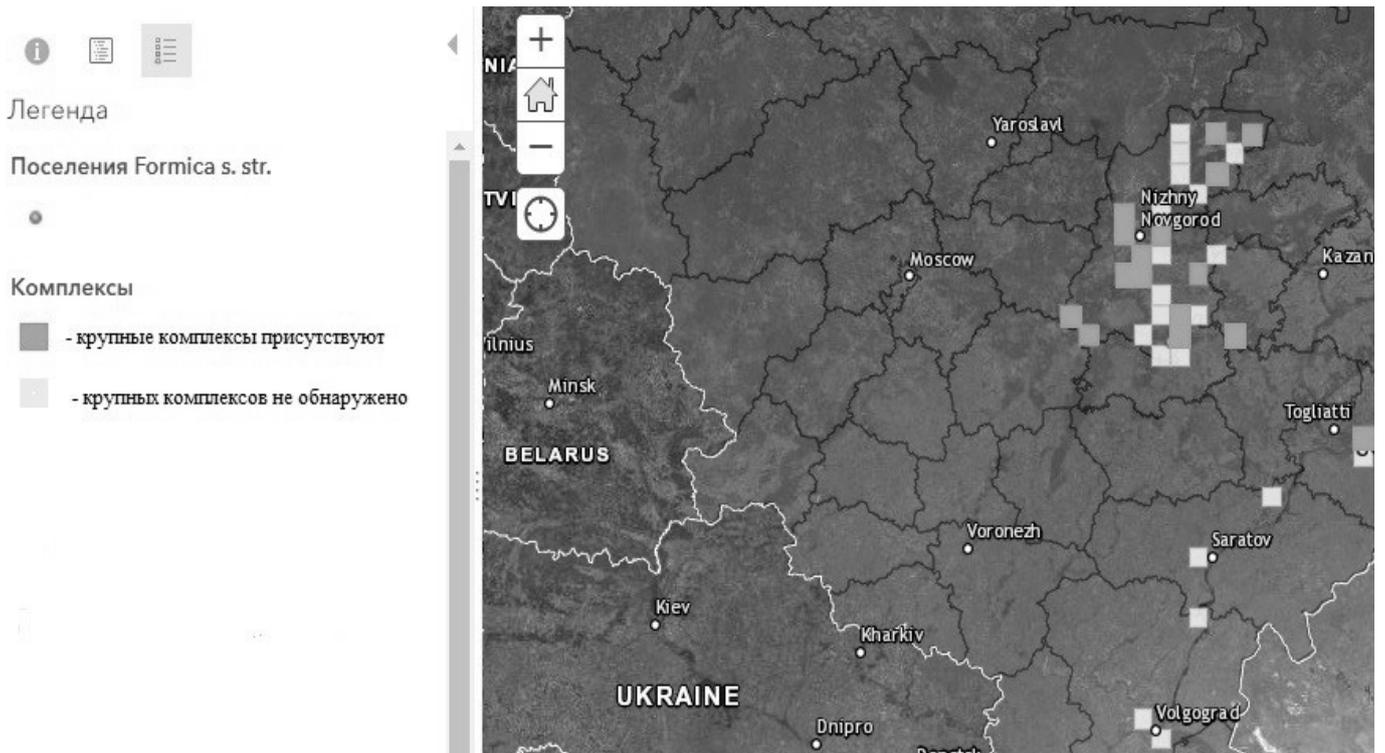


Рис. 5. Распределение крупных комплексов муравейников *Formica s. str.* по фитоценозам Поволжья

Google Earth показывает большую плотность древесной стоя в Арзамасском районе Нижегородской области (территория Пустынского заказника) и в окрестностях Алатырского района республики Чувашия (территория Присурского заповедника) (см. рис. 3).

Результатом оценки распределения популяций муравьев по исследуемым территориям явилась карта Среднего Поволжья со следующими слоями: линейный слой административных границ регионов и точечный слой с данными о комплексах муравейников *Formica s. str.* (каждая точка несет в себе информацию о конкретном муравейнике — название населенного пункта, тип фитоценоза, вид муравья, дата сбора данных).

При оценке плотности поселений *Formica s. str.* на цветовой карте показаны объекты 7–9 классов плотности на севере Нижегородской области, границе Нижегородской области и республики Чувашия, что соответствует крупным комплексам муравейников (>20 гнезд в одном комплексе). Объекты 4–6 классов плотности в Самарской области и республике Марий Эл соответствуют малым комплексам (< 20 муравейников). Следует отметить, что районы с высокой плотностью поселений муравьев территориально приурочены к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) регионального значения (Керженский государственный природный заповедник, Пустынский заказник,

национальный парк Марий Чодра), лесные массивы в пределах которых находятся под охраной, их средний возраст выше и способствует образованию комплексов (см. рис. 4).

Карта «горячих точек» более детализирована относительно карты плотности поселений муравьев *Formica s. str.*, что объясняется делением исследуемой территории на квадраты. В настоящем исследовании на квадраты стороной 32 км делятся растительные сообщества не всего Поволжья в целом, а лишь тех территорий, где обнаружены комплексы муравейников. Обозначения «горячих точек» на цветовой карте соответствуют локализации крупных и обширных комплексов в ООПТ и лесных массивах Нижегородской и Самарской областей, республики Чувашия (см. рис. 5). Данные локалитеты соответствуют высокополнотным, среднебонитетным лесонасаждениям, преимущественно хвойным и хвойным с примесью мягколиственных пород.

Статистическая обработка результатов

Проверка статистической достоверности результатов проводилась на базе платформы «СтатТех» (Россия). При оценке случайности или закономерности распределения комплексов муравейников по регионам среднего Поволжья использовался метод точного критерия

Таблица 1. Распределение поселений разных видов муравьев *Formica* s.str. в хвойных и лиственных фитоценозах Среднего Поволжья

Параметр	Категория	Вид							p
		<i>F. aquilonia</i>	<i>F. lugubris</i>	<i>F. polyctena</i>	<i>F. pratensis</i>	<i>F. rufa</i>	<i>F. truncorum</i>	<i>F. polyctena</i> * <i>F. rufa</i>	
	хвойный	1 (3.45%)	–	5 (17.24%)	13 (44.83%)	8 (27.59%)	1 (3.45%)	1 (3.45%)	
Тип фитоценоза	лиственный	14 (25%)	2 (3.57%)	12 (21.43%)	5 (8.93%)	13 (23.21%)	7 (12.5%)	3 (5.36%)	0.001

Фишера. Соотношение между максимальными и минимальными значениями проверяемого признака ограничивалось критерием статистической значимости p (различия между искомыми признаками статистически значимы при $p < 0.05$)

Было установлено наличие прямой корреляции между типом растительного сообщества и видами муравьев, населяющих его — при обработке экспортированных на карту табличных данных программой критерий статистической значимости составил $p = 0.001$ (см. таблицу 1.). Таким образом, показано большее сгущение муравейников в крупные комплексы в хвойных лесах с преобладанием поселений северного (*Formica aquilonia*) и малого (*F. polyctena*) лесных муравьев. Результаты соответствуют картографическим данным, отображающим наличие крупных комплексов муравейников на севере Нижегородской области и в республике Чувашия.

Заключение

Исходя из результатов проведенного исследования, можно отметить, что лесорастительный покров регионов Среднего Поволжья имеет нечеткую структуру разграничения (пограничные районы на стыке южной тайги и смешанного леса, широколиственного леса и лесостепи и т.д.). Подобные особенности распределения фитоценозов являются благоприятными для рыжих лесных муравьев (подрод *Formica* s.str.), используемых в настоящем исследовании в качестве индикаторов состояния леса.

Картографическая картина данных позволяет сделать вывод о тяготении муравьев данного подрода

к средневозрастным хвойным лесам, произрастающим на подзолистых почвах. Так, крупные комплексы муравейников обнаружены в южнотаежных районах севера Нижегородской области. Лиственные леса и лесостепи не способствуют комплексообразованию — в фитоценозах такого типа биоиндикаторы встречаются преимущественно в одиночных муравейниках или малых разрозненных поселениях. Это объясняется совокупностью почвенных, ландшафтных, геоботанических факторов среды, оценка роли которых ложится в основу будущих исследований.

Также следует отметить эффективность использования ГИС в оценке состояния лесных сообществ. Комплексные карты позволяют дать полную картину экологической ситуации в исследуемом регионе и спрогнозировать дальнейшую динамику состояния фитоценоза и поведения биоиндикаторов. Несмотря на внешнеполитическую ситуацию, усложняющую доступ к программному обеспечению ArcGIS, применение картографических сервисов в дальнейшем не будет приостановлено — данную платформу может заменить отечественное ПО («ГИС-Интегро», «ГИС-Аксиома» и т.д.), также дающее возможность создания, анализа и регулярного дополнения комплексных карт для дальнейшего наблюдения экологической обстановки в фитоценозах Поволжья.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаевский Л.М., Вахромеева Л.А. Картографические проекции. М.: Недра, 1992. 293 с.
2. Воробьева И.Г. Состояние поселений рыжих лесных муравьев в лесах республики Марий Эл в условиях сильного антропогенного пресса // Муравьи и защита леса: Мат. XII Всерос. мирмекол. симп. Новосибирск, 2005. С. 23–26.
3. 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.
4. 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.

5. Зрянин В.А., Козлова А.А. База геоданных по комплексам муравейников *Formica s. str.* Среднего Поволжья // Муравьи и защита леса: Мат. XV Всерос. мирмекол. симп. Екатеринбург, 2018. С. 161–165.
6. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учеб. — М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
7. Корочкина Н.И., Коноплева Е.Е., Зрянина Т.А. Популяционная структура *Formica aquilonia* (Hymenoptera, Formicidae) на границе бореальных и суббореальных ландшафтов в Поволжье // Зоол. журнал. 2014. Т. 93, № 4. С. 559–569.
8. Лебедев П.П. Теория и методы кадастрового картографирования с применением географических информационных систем (ГИС). М.: ГУЗ. 2001. 128 с.
9. Мильков Ф.Н. Среднее Поволжье: физико-географическое описание. М.: Издательство Академии Наук СССР, 1953. 263 с.
10. Перепелкина Е.Б. Изучение минеральных и органических компонентов водопрочных агрегатов гумусово-аккумулятивных горизонтов серых лесных почв Среднего Поволжья. Казань: КГУ, 2004. 125 с.
11. Ручин А.Б., Зрянин В.А. К фауне муравьев (Hymenoptera: Formicidae) республики Мордовия // Муравьи и защита леса. Материалы XIV Всероссийского мирмекологического симпозиума. 2013. С. 108–109.
12. Ступишин А.В. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1964. 197 с.
13. Alias Abdul-Rahman, Morakot Pilouk. Spatial Data Modelling for 3D GIS. 2008. 287 P.
14. Chapman A.D. Quality control and validation of point-sourced environmental resource data in Spatial Accuracy Assessment // Land Information Uncertainty in Natural Resources. Lowell K. and Jatou A. eds. 1999. P. 409–418.
15. South A. R-Worldmap: new R package for mapping global data // The R Journal. 2011. Vol. 3, № 1. P. 35–43.
16. Интерактивная карта «Леса России» (предоставлена Федеральным агентством лесного хозяйства) — [электронный ресурс] — <https://maps.roslesinforg.ru/#/> (дата обращения 10.01.2022)
17. Статистическая обработка данных — [электронный ресурс] — <https://stattech.ru/> (дата обращения 10.01.2022)

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

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского