

УДК: 581.9+528.94

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-479-493

Г. В. Митенко<sup>1</sup>, А. А. Присяжная<sup>2</sup>, В. Р. Хрисанов<sup>3</sup>, С. А. Круглова<sup>4</sup>, В. В. Снакин<sup>5,6</sup>

## РАЗРАБОТКА ГРИД-МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА БИОРАЗНООБРАЗИЯ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ЛИХЕНОФЛОРЫ

### АННОТАЦИЯ

С целью оптимизации сравнительного анализа пространственных показателей биоразнообразия для всей территории Российской Федерации предложена геоинформационная методика представления данных на основе регулярной сетки с размером ячейки 100×100 км, аналогичной EMER Grid, включающей только Европейскую территорию России. На примере пространственного распределения лишайников разработан алгоритм преобразования атрибутивной, полигональной и точечной темы в грид-модель. С использованием разработанной грид-модели в качестве примера представлены карты распространения охраняемых на федеральном уровне представителей лишайников, численности охраняемых видов и их доли в общем разнообразии лишайнофлоры для территории Российской Федерации. Сгенерированная в грид-модель карта по распространению охраняемых видов представляет отчетливую картину с выделением центров концентрации видов. В горной области Сихотэ-Алинь, в некоторых районах Прибайкалья, Кавказа, на о-вах Кунашир и Итуруп концентрация составляет 12–18 видов на 10 тыс. км<sup>2</sup>. На основе сопоставления в единой картографической модели информации по общему видовому разнообразию и числу охраняемых видов лишайников рассчитан показатель доли охраняемых видов, который изменяется на территории страны от 0 до 3,4 %. Верхний предел этого показателя значительно ниже доли охраняемых видов в общем разнообразии лишайнофлоры, определенной в пределах биомов (6,4 %). Разработанную грид-модель предполагается использовать для представления различных аспектов биологического разнообразия и связанных с ним параметров окружающей среды в анонсированном ранее проекте атласа «Биоразнообразие России» с тем, чтобы иметь возможность количественной оценки взаимосвязи показателей самой разной природы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сеточное картографирование, грид-модель, охрана видового разнообразия, биомы, разнообразие лишайников

<sup>1</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, ул. Институтская, д. 2, Пушкино, Московская обл., Россия, 142290, *e-mail*: [gen.mitenko@yandex.ru](mailto:gen.mitenko@yandex.ru)

<sup>2</sup> Институт фундаментальных проблем биологии РАН, ул. Институтская, д. 2, Пушкино, Московская обл., Россия, 142290, *e-mail*: [alla\\_pris@rambler.ru](mailto:alla_pris@rambler.ru)

<sup>3</sup> Институт фундаментальных проблем биологии РАН, ул. Институтская, д. 2, Пушкино, Московская обл., Россия, 142290, *e-mail*: [hvr14@yandex.ru](mailto:hvr14@yandex.ru)

<sup>4</sup> Институт фундаментальных проблем биологии РАН, ул. Институтская, д. 2, Пушкино, Московская обл., Россия, 142290, *e-mail*: [krugsa3@yandex.ru](mailto:krugsa3@yandex.ru)

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Музей земледения, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: [snakin@mail.ru](mailto:snakin@mail.ru)

<sup>6</sup> Институт фундаментальных проблем биологии РАН, ул. Институтская, д. 2, Пушкино, Московская обл., Россия, 142290, *e-mail*: [snakin@mail.ru](mailto:snakin@mail.ru)

Gennady V. Mitenko<sup>1</sup>, Alla A. Prisyazhnaya<sup>2</sup>, Vladislav R. Khrisanov<sup>3</sup>, Svetlana A. Kruglova<sup>4</sup>, Valery V. Snakin<sup>5,6</sup>

## DEVELOPMENT OF A GRID MODEL FOR SPATIAL ANALYSIS OF BIODIVERSITY IN RUSSIA ON THE EXAMPLE OF LICHEN FLORA

### ABSTRACT

In order to optimize the comparative analysis of spatial indicators of biodiversity for the entire territory of the Russian Federation, a geoinformation method for presenting data based on a regular grid with a cell size of 100×100 km, similar to the EMEP Grid, which includes only the European territory of Russia, is proposed. Using the example of spatial distribution of lichens, an algorithm for converting attribute, polygonal and point themes into a grid model was developed. Using the developed grid-model as an example, maps of distribution of federally protected lichen representatives, the number of protected species and their share in the total diversity of lichen flora for the territory of the Russian Federation are presented. The map of distribution of protected species generated in the grid-model presents a clear picture with the identification of centers of species concentration. 12–18 species per 10 thous. km<sup>2</sup> were found in the Sikhote-Alin mountain region, in some areas of the Baikal Region, Caucasus, on the islands of Kunashir and Iturup. Based on the comparison of information on total species diversity and the number of protected lichen species in a single cartographic model, the indicator of the proportion of protected species was calculated, which varies from 0 to 3.4 % in the territory of the country. The upper limit of this indicator is much lower than the share of protected species in the total diversity of lichen flora determined within biomes (6.4 %). The developed grid model is supposed to be used to represent various aspects of biological diversity and related environmental parameters in the previously announced project of the atlas “Biodiversity of Russia” in order to be able to quantify the relationship between indicators of different nature.

**KEYWORDS:** grid mapping, grid model, biodiversity conservation, biomes, lichen diversity

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие геоинформационных методов представляется весьма перспективным для понимания проблем сокращения биоразнообразия, особенностей пространственного распределения редких и исчезающих видов. При этом биогеографическая карта рассматривается как важнейшее средство познания пространственных закономерностей локализации биоты на разных уровнях исследования в зависимости от действующих факторов окружающей среды [Огуреева и др., 2016], а изучение закономерностей географии биоразнообразия рассматривается в качестве методологической основы его сохранения [Тишков, 2012].

---

<sup>1</sup> Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow Oblast, 142290, Russia, *e-mail*: [gen.mitenko@yandex.ru](mailto:gen.mitenko@yandex.ru)

<sup>2</sup> Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow Oblast, 142290, Russia, *e-mail*: [alla\\_pris@rambler.ru](mailto:alla_pris@rambler.ru)

<sup>3</sup> Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow Oblast, 142290, Russia, *e-mail*: [hvr14@yandex.ru](mailto:hvr14@yandex.ru)

<sup>4</sup> Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow Oblast, 142290, Russia, *e-mail*: [krugsa3@yandex.ru](mailto:krugsa3@yandex.ru)

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Museum of Geosciences, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, *e-mail*: [snakin@mail.ru](mailto:snakin@mail.ru)

<sup>6</sup> Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya str., Pushchino, Moscow Oblast, 142290, Russia, *e-mail*: [snakin@mail.ru](mailto:snakin@mail.ru)

В силу разнородности данных о биоразнообразии, различных приемов пространственной привязки этих данных возникают проблемы при составлении карт по биоразнообразию. Затруднительна визуализация пространственных данных большого объема. Кроме того, очень сложной проблемой является поиск и анализ природных и антропогенных факторов окружающей среды, влияющих на формирование пространственного распределения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов. Возникает необходимость в поиске новых картографических подходов, в совершенствовании принципов, методов и технологий к картографированию биоразнообразия в соответствии с целями, степенью изученности и уровнями пространственной организации экосистем.

Необходимо отметить, что в мировой литературе очень мало обобщающей картографической информации по биоразнообразию. Наиболее полно картографический материал по распространению редких и находящихся под угрозой исчезновения видов представлен в Европе: Европейские Красные списки сосудистых растений [Bilz et al., 2011], амфибий, пчел, птиц, бабочек, стрекоз, кузнечиков и сверчков, пресноводных рыб, морских рыб, млекопитающих, лекарственных растений, пресноводных и наземных моллюсков. В этих книгах представлены не только списки редких и эндемичных видов, но и обобщенный картографический материал с подробным анализом особенностей распространения исследуемых таксономических групп.

В нашей стране в базе данных проекта «BioDat»<sup>1</sup> представлена серия карт по биоразнообразию, в т. ч. по редким и исчезающим видам разных систематических групп.

Авторами настоящей статьи [Присяжная и др., 2019; 2021] проведен анализ географических особенностей распространения видов мохообразных, водорослей, лишайников и грибов, включенных в Красную книгу Российской Федерации и региональные Красные книги. При составлении мелкомасштабных карт мы столкнулись с проблемой визуализации пространственных данных большого объема — наложение информации, перекрытие картографических символов. В некоторых случаях картографическое отображение местонахождений видов объединяли по определенным группам (категориям редкости) или выносили на карту-врезку наиболее распространенного вида. Применение сеточного картографирования, позволяющего показать плотность большого количества точечных объектов, представив их ячейками сетки, — один из способов отображения полной картины распространения видов.

Разработка метода сеточного картографирования началась в 1960-е гг. в рамках панъевропейского проекта по картографированию флоры Европы. Работа проводилась на единой основе, нанесенной на географическую карту в виде сетки условных квадратов равноценной площади. Проект был осуществлен на регулярной сетке международного стандарта UTM — 50×50 км для всей европейской территории, площадь каждой ячейки составила приблизительно 2,5 тыс. км<sup>2</sup>. Возможности применения метода квадратных сеток для картографирования флоры и отдельных групп фауны в дальнейшем были использованы в разных странах [Серегин, 2014; Humphries et al., 1999; Romanov, 2017].

Первым опытом сеточного картографирования флоры на территории России является двухтомная сводка «Флора Центральной Сибири» [Флора..., 1979]. Картированием охвачено 1 284 вида и подвида сосудистых растений, что составило 53,8 % всей флоры региона.

Метод сеточного картографирования широко применяется для пространственного отображения биоразнообразия на региональном уровне или для исследования местонахождений конкретного вида [Королева и др., 2019; Аристархова и др., 2022; Королева, Дикарева, 2023; Полежаев, 2024]. В работе [Серегин, 2013] приведены данные по сеточ-

<sup>1</sup> Официальный сайт «BioDat». Электронный ресурс: <http://biodat.ru/> (дата обращения 01.02.2025)

ному картированию флоры Владимирской обл., а также представлен обширный обзор публикаций по сеточному картированию флоры в мире и России.

Целью настоящего исследования является разработка грид-модели на всю территорию России, которая даст возможность корректного сравнения массивов данных с использованием аналитических возможностей ГИС-систем.

Теоретические основы и практические унифицированные геоинформационные методики картографирования экологических параметров, в частности, были разработаны в рамках выполнения работ по Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния (1979) [Calculation..., 1993]. Однако созданные в рамках этой конвенции программные продукты затрагивали только Европейскую территорию России.

Предложенная нами грид-модель — специальная координатная сетка, аналогичная сетке EMEP Grid — будет использована в рамках подготовки анонсированного атласа «Биоразнообразии России» для унификации различных данных по биоразнообразию [Котова и др., 2024].

Задачами исследования были разработка грид-модели на территорию всей страны и отработка модели на примере пространственного распределения лишайников (общего видового состава в пределах биомов, ареалов и местонахождений редких и исчезающих видов).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления особенностей пространственного распространения видов лишайников на территории России анализировались следующие картографические материалы:

1. Карта «Биомы России» [2018], разработанная на основе концепции географии биоразнообразия и экосистем в биогеографии [Биоразнообразие..., 2020].
2. Картографические материалы по распространению охраняемых на федеральном уровне видов лишайников, составленные ранее [Присяжная и др., 2020] по Красной книге России [2008]. Эти материалы в значительной степени были дополнены: картографической информацией из региональных Красных книг; официальной информацией с сайтов ООПТ, на территории которых зарегистрированы исследуемые виды; информацией из международных баз данных<sup>1</sup>; новыми данными из литературных источников.

Интеграция различных типов данных по биоразнообразию и другой тематической информации в единую систему была реализована на основе ГИС-технологий. Для анализа информации и получения массивов данных, которые могут быть корректно сравнимы, в геоинформационной системе была сгенерирована «географическая сеть» ячеек (т. н. грид-модель данных), построенная на основе ячеек размерностью 100×100 км и полностью покрывающая территорию РФ.

Тематическая информация, представленная в виде точечных объектов (локальные местонахождения видов), полигональных объектов (ареалы видов, биомы), а также атрибутивная информация на картограммах (общее видовое разнообразие) была преобразована в грид-модель анализируемых параметров. Таким образом, исходная информация состояла из двух видов картографической информации: полигональных и точечных тем, которые некорректно сравнивать без приведения их к единому виду картографической информации.

---

<sup>1</sup> Global Biodiversity Information Facility. Электронный ресурс: <https://www.gbif.org/> (дата обращения 01.03.2025)

Преобразование картографической информации в грид-модель осуществлялось по следующим этапам:

1. Этап 1. Совмещение информации в единую картографическую модель представления данных (совмещение общего вида, единая картографическая проекция, проверка атрибутивной информации).
2. Этап 2. Преобразование картографической информации, относящейся к разным группам (точки, полигоны) в грид-модель и получение синтезированной информации, привязанной к ячейкам предложенной грид-модели.
3. Этап 3. Проверка соответствия атрибутивной информации из исходного тематического и полученного грид-слоя.
4. Этап 4. Анализ пространственного распределения полученной информации на основе предложенной грид-модели.

### Преобразование полигональной темы в точечную

С целью уменьшения потерь информации предлагается преобразование информации об ареалах распространения некоторых видов лишайников из полигональной темы в точечную, используя посредническую роль ячейки грид-модели. В качестве примера выбрана часть территории Центральной Сибири (рис. 1). На начальном этапе получаем пересечение двух полигональных слоев «ареалы» и «ячейки сетки» (рис. 1а). Затем каждый из полученных полигонов «ареалы» с сохранением атрибутивной информации (в виде кода, т. е. информация о виде лишайника) был преобразован в точечную тему с использованием функции построения центровидов из библиотеки обработки данных ГИС-системы (рис. 1б). Таким образом, сохраняется пространственное распределение исходных данных, т. е. ареал и его атрибутивная информация (код вида лишайника). В результате получен точечный тематический слой, который корректно совмещать с другим тематическим слоем (рис. 1с).

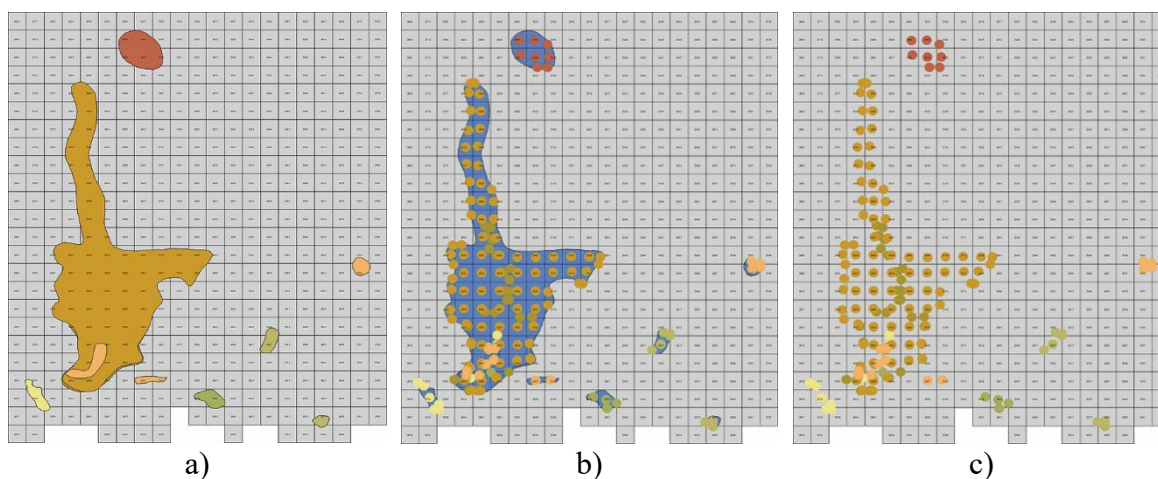
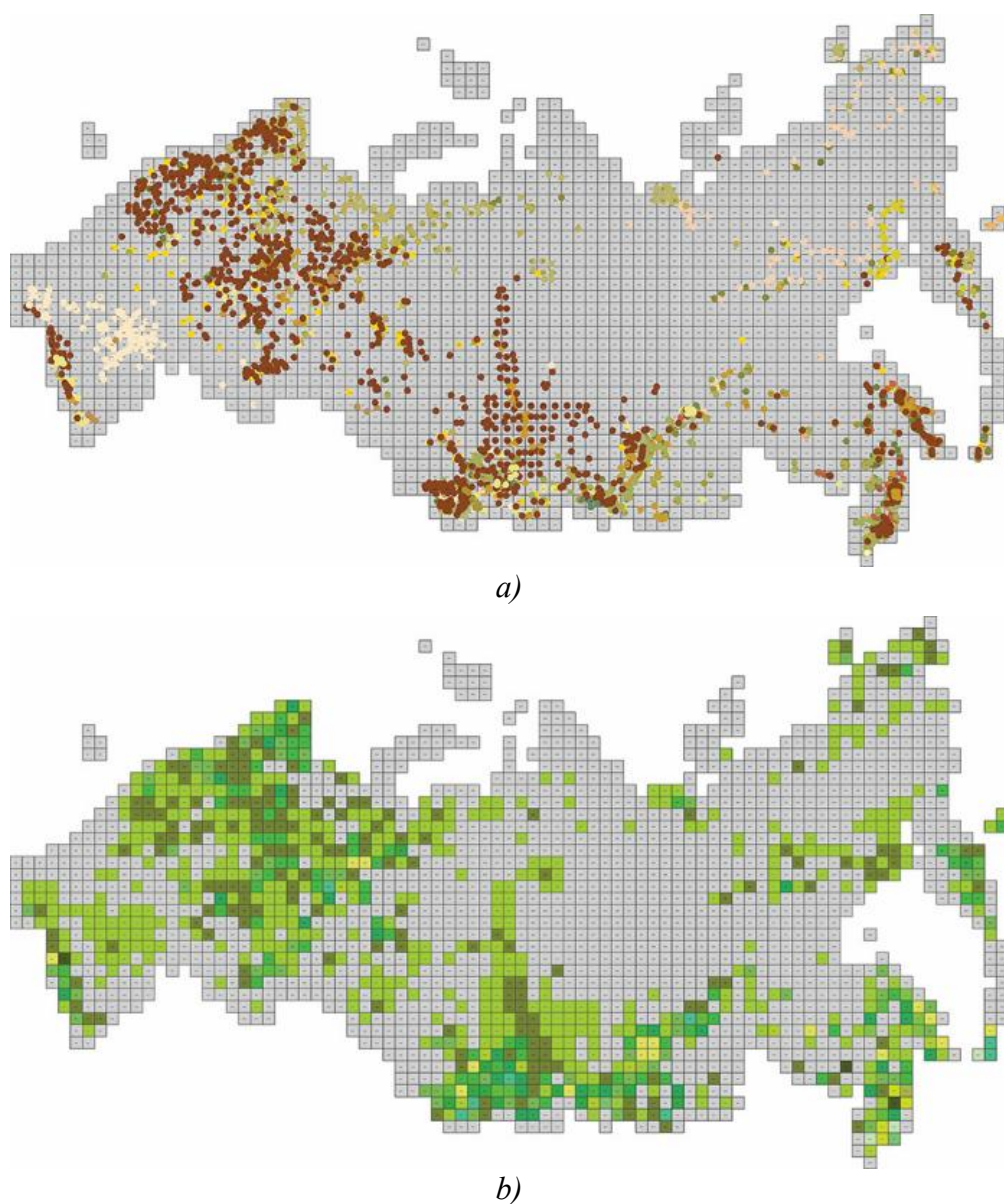


Рис. 1. Пример преобразования полигональной темы в точечную: а — фрагмент карты ареалов (полигоны), совмещенный с грид-моделью; б — преобразование полигональной темы ареалов в соответствии с грид-моделью (каждый полученный полигон отмечен точкой); с — представление ареала в виде точечной темы  
Fig. 1. Example of transforming a polygonal theme into a point theme: a — a fragment of the map (polygons) combined with the grid model; b — transformation of the polygon theme according to the grid model (each resulting polygon is marked with a point); c — representation of transforming data as a point theme

### Преобразование точечного слоя в грид-тему

С помощью возможностей ГИС-анализа, позволяющих совместить атрибутивную информацию различных слоев (в частности, точечную — местонахождения редких видов лишайников (рис. 2а) и полигональную — ячейки грид-модели) была получена агрегированная таблица с информацией, которая объединила набор данных по лишайникам (код вида) и данные о ячейке грид-модели (уникальный номер). Впоследствии данные о различных видах лишайников, которые находились на территории одной ячейки, суммировались, и сумма присваивалась этой ячейке как параметр «количество редких видов лишайников». Так была получена карта о распространении редких видов лишайников в виде грид-модели (рис. 2б).



*Рис. 2. Пример преобразования точечной темы в грид-модель: а) — совмещение точечной темы с грид-моделью; б) — отображение преобразованной точечной темы в виде грид-модели*

*Fig. 2. Example of transforming a point theme into a grid model: a) — merging the point theme with the grid model; b) — representing the transformed point theme as a grid model*

На основе карты «Биомы России» [2018] были оцифрованы границы биомов, а числовая информация по общему видовому разнообразию лишайников преобразована в грид-модель. При этом, если в ячейке пересекались несколько границ биомов с различным общим видовым составом, число видового разнообразия в ячейке принималось по максимальному значению.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Широко распространена и активно используется в различных научных областях (климатология, экология, геология и др.) практика представления информации в виде сеточных моделей, где информация сгруппирована (привязана) к определенным точкам (регулярная сетка) либо географически (например сетка ЕМЕП или ЕМЕП grid), либо логически (таблица привязки данных: местонахождения редких видов по методике МСОП и т. п.). Такой подход к представлению информации активно используется при международных и рамочных программах сотрудничества и взаимодействию на различных административно-территориальных уровнях: природные границы не совпадают с административными границами территориальных образований.

Территория России протянулась с запада на восток от 27° в. д. до 169° в. д., т. е. почти на 10 000 км, а с севера на юг — более чем на 4 000 км. Используемая в рамках международных экологических соглашений сетка ЕМЕП Grid<sup>1</sup> не захватывает огромную азиатскую территорию России (рис. 3), а использование информации в рамках границ разных по площади субъектов РФ или биомов не дает возможности равноценного анализа особенностей территории страны.

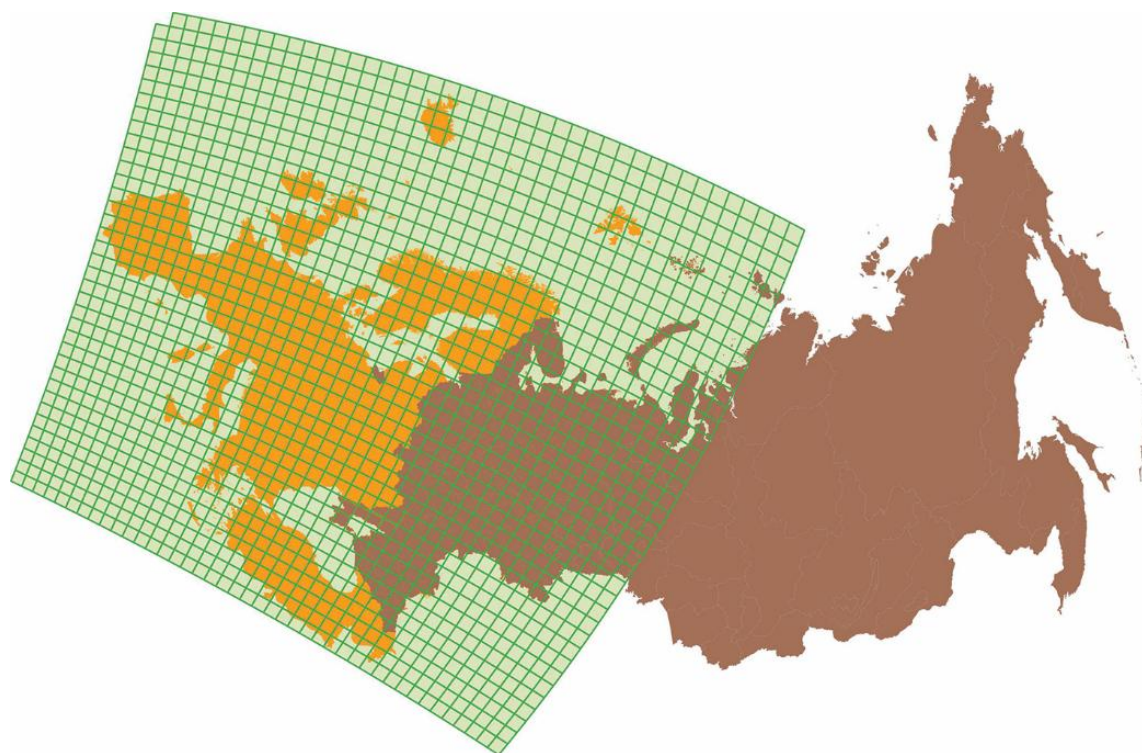
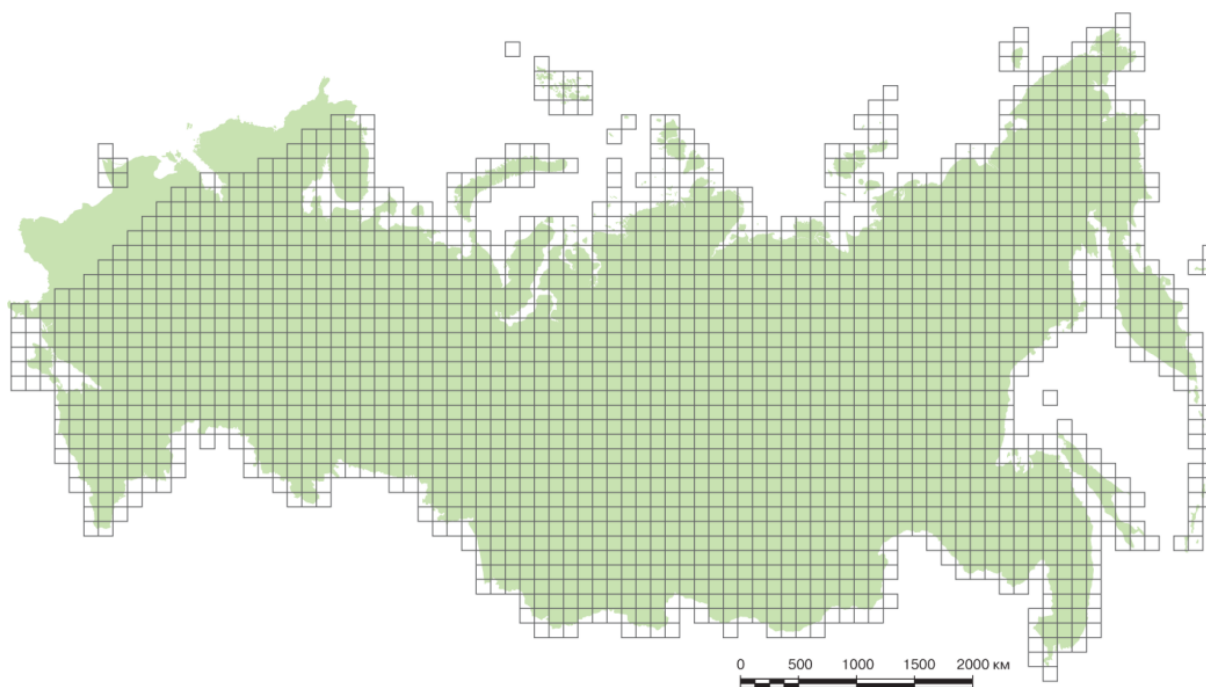


Рис. 3. Сетка ЕМЕП  
Fig. 3. EMEP Grid

<sup>1</sup> The European Environment Agency. Электронный ресурс: <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/b1343670-afaf-4eae-b2fd-a35c1f28a259> (дата обращения 01.03.2025)

Для выявления особенностей пространственного распределения биоразнообразия с помощью программы QGIS<sup>1</sup> на всю территорию России была наложена специальная регулярная сетка, аналогичная сетке EMEP Grid (рис. 4).



*Рис. 4. Регулярная сеть ячеек на территорию России*  
*Fig. 4. Regular cell grid covering the territory of Russia*

### **Видовое разнообразие лишайников в пределах биомов**

Лишайники широко распространены на Земле, они встречаются от тропиков до полярных районов. Особенно велика их роль в формировании арктических, субарктических и бореальных экосистем. Географическое распространение многих лишайников приурочено к тем или иным природным условиям, а также обусловлено выборочным отношением к субстрату. Однако распространение лишайников в целом и отдельных их видов недостаточно изучено как в мировой практике, так и для территории России. Число видов невозможно определить однозначно, в т. ч. и в связи с постоянно происходящими изменениями в таксономии на разных уровнях классификации. По данным МСОП<sup>2</sup>, в мире описано 17 000 видов лишайников. В книге [Биоразнообразие..., 2020] приведены данные по общему разнообразию лишайников в мире (23 000 видов) и в России (4 040 видов).

Необходимо отметить, что на уникальной для России карте «Биомы России» [2018] в полном объеме приведены данные по биоразнообразию флоры (в т. ч. лишайников) и фауны региональных биомов. По мнению авторов, количественная оценка видов растений в силу малой изученности некоторых групп дает общее (сравнительное) представление о современном флористическом богатстве биомов. Для отдельных биомов количество видов авторы определяли по данным учета в заповедниках или по экспертным оценкам.

Проведенное нами ранжирование биомов на территории России по общему видовому разнообразию лишайников выявило пределы изменения этого показателя — 80–1 700.

<sup>1</sup> QGIS overview. Электронный ресурс: <https://qgis.org/> (дата обращения 01.03.2025)

<sup>2</sup> The IUCN Red List of Threatened Species. Электронный ресурс: <https://www.iucnredlist.org/> (дата обращения 01.10.2024)

Богатое разнообразие (>1 000 видов) наблюдается в Алтае-Саянском (за исключением географического варианта Минусинской котловины), Северо-Западнокавказском и Северокрымском оробиомах, а низкие показатели (<120) — в Прикаспийском пустынно-степном, Нижнеколымском лесотундровом и Котуйско-Ленском северотаежном биомах.

Картина распределения видового разнообразия лишайников на территории России, представленная в виде грид-модели (рис. 5b), сохранила общие тенденции в распространении видового состава в пределах биомов (рис. 5a). Расширение границ биомов в представленной грид-модели объясняется тем, что, как мы отмечали ранее, при пересечении нескольких границ биомов в ячейке число видового разнообразия принималось по максимальному значению с целью сохранения значимой информации о видовом составе на исследуемой территории.

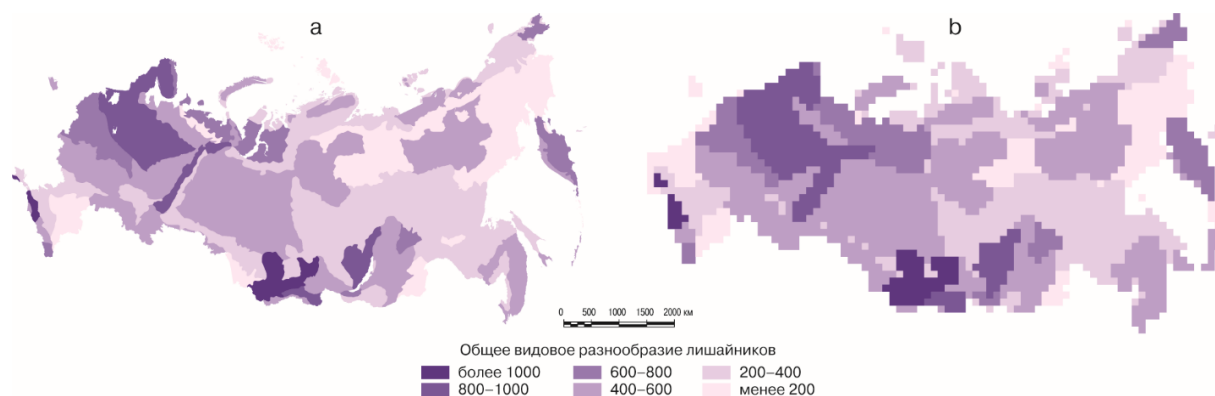


Рис. 5. Общее видовое разнообразие лишайников  
в пределах биомов (a) и в грид-модели (b)

Fig. 5. Total lichen species diversity within biomes (a) and in the grid model (b)

### Охраняемые на федеральном уровне виды лишайников

Выделены регионы с наибольшим видовым составом редких лишайников — горные территории Кавказа, Алтая, Саян, Забайкалья, о. Сахалин, а также районы оз. Байкал, южной части Курильских о-вов, Приморья и Чукотского п-ова. Территории Западной и Центральной Сибири, юго-западные и южные части России характеризуются минимальной концентрацией видов охраняемых лишайников.

Как было отмечено выше, составленные нами ранее карты по распространению охраняемых видов в значительной степени дополнены новой картографической информацией. Именно этот картографический материал был преобразован в грид-модель. Как видим на рис. 6a, на мелкомасштабной карте очень сложно отобразить все местонахождения и ареалы видов. Сгенерированная в грид-модель карта по распространению охраняемых видов лишайников (рис. 6b) представляет более четкую картину с лучшим отображением центров концентрации видов. Более 12 видов (максимально — 18) на 10 тыс. км<sup>2</sup> обнаружено в горной области Сихотэ-Алинь, в некоторых местах Прибайкалья, Кавказа, на о-вах Кунашир и Итуруп. В целом, высокая концентрация видов отмечается в Приморье, на о. Сахалин, в регионах Алтая, Западных и Восточных Саян, Прибайкалья, Северного Урала, Кавказа, Кольского п-ова. Отчетливо проявляются обширные территории страны, где охраняемые виды не обнаружены. Однако в таком отображении теряется информация о распространении конкретных видов.

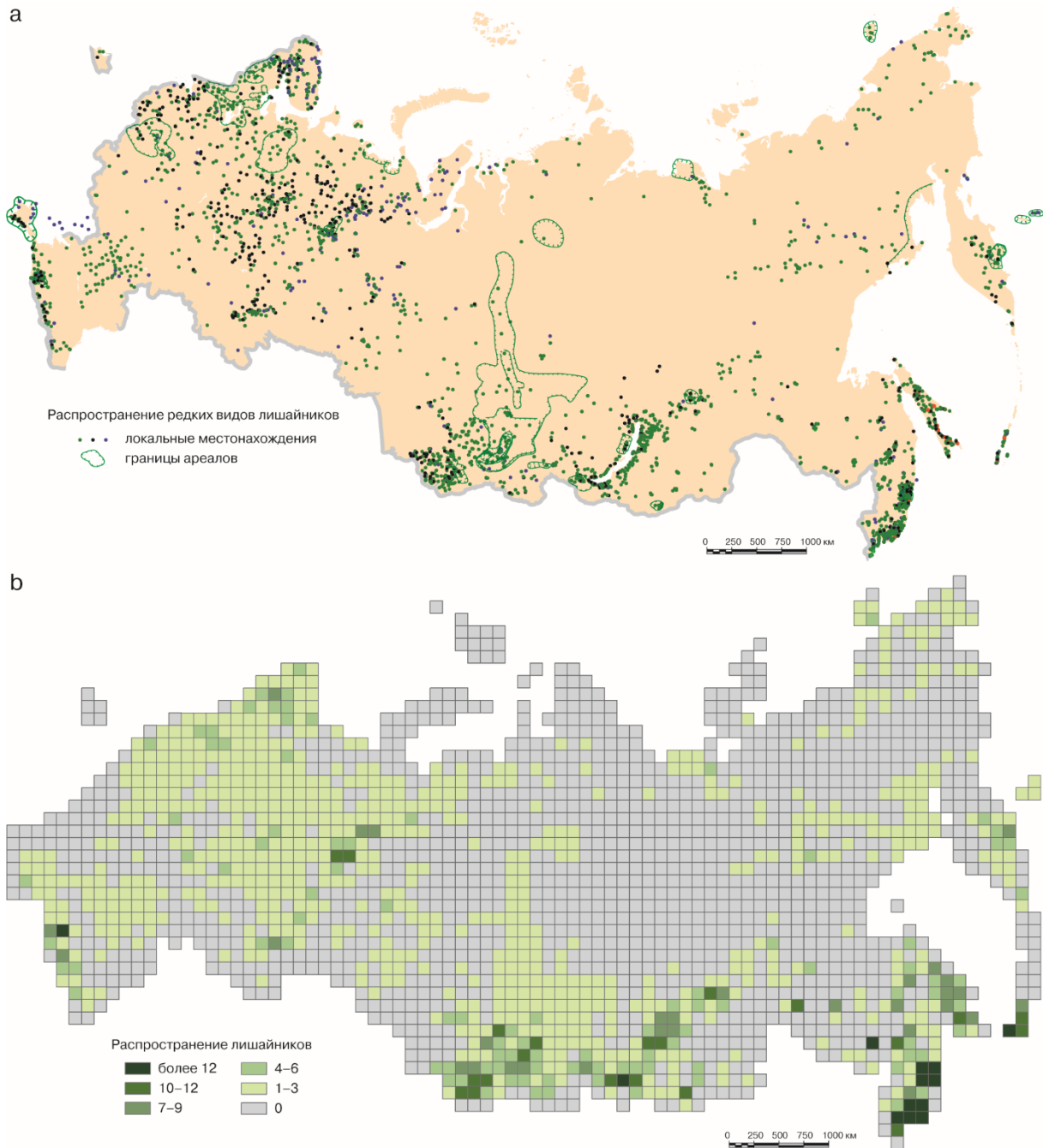


Рис. 6. Распространение охраняемых на федеральном уровне лишайников, представленное: а) в виде местонахождений и ареалов; б) в грид-модели  
Fig. 6. Distribution of protected lichens: a) represented as locations and ranges; b) displayed in grid model

### Доля охраняемых видов

Доля охраняемых видов в общем разнообразии видов таксономической группы является одной из важных характеристик биоразнообразия и включена Европейской экономической комиссией в показатели по биоразнообразию<sup>1</sup> наряду с такими индикаторами,

<sup>1</sup> Recommendations for revising the ECE set of environmental indicators: Energy and Biodiversity, 2017. Электронный ресурс: <https://www.unecce.org> (дата обращения 10.11.2024)

как общее число видов, число охраняемых видов др. В Красную книгу РФ [2008] включены 42 вида лишайников, что составляет 1 % общего разнообразия лишайнофлоры России.

Расчет доли охраняемых видов лишайников в общем видовом разнообразии лишайнофлоры различных биомов показал, что этот индикатор изменяется в пределах 0–6,4 % (рис. 7а). Важно отметить, что в некоторых биомах, в которых «краснокнижные» виды лишайников не встречаются, общее видовое разнообразие лишайнофлоры составляет 190–600 видов (Нижнеколымский северотаежный — 600, горных тундр высокоарктических островов — 500). Выделены биомы с высокой долей охраняемых видов лишайников (5 % и более): Амуро-Уссурийский подтаежный, Минусинская котловина и Южносахалинский, при этом в указанных биомах видовое разнообразие составляет 250, 300 и 500 соответственно. Низкая доля охраняемых видов лишайников (менее 1 %) отмечается в 43 вариантах как оробиев, так и равнинных биомов, для которых общее видовое разнообразие лишайнофлоры оценивается от 120 до 1 400 видов.

Пространственное представление доли охраняемых видов в общем видовом разнообразии лишайников (рис. 7б) получено с помощью возможностей ГИС-анализа, позволяющих совместить информацию различных слоев, т. е. карт (рис. 5б, 6б). Тематическое отражение, как видим, иное в сравнении с рис. 7а, поскольку при расчете по биомам учитывалось общее число охраняемых видов на площади всего биома. Ожидаемо изменился диапазон показателя — 0–3,4 %. Из 822 ячеек, в которых присутствуют охраняемые виды, в 65 охраняемые виды составляют более 1 % общего разнообразия лишайнофлоры, и только в 17 ячейках — более 2 % (горная область Сихотэ-Алинь, о-ва Сахалин, Кунашир и Итуруп). В 366 ячейках охраняемые виды составляют менее 0,25 % общего разнообразия лишайнофлоры.

Таким образом, преобразование картографической информации в грид-модель показало значительное преимущество данного приема в визуализации пространственных данных большого объема, а также сохранение атрибутивной информации для корректного сравнения массивов данных с использованием аналитических возможностей ГИС-систем.

Полученные результаты по пространственному распределению охраняемых на федеральном уровне видов лишайников потребуют уточнения, поскольку в 2023 г. утвержден новый Перечень объектов растительного мира<sup>1</sup>, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, со значительными изменениями видового состава — обновление списка видов лишайников на 43 %. Следовательно, предстоит работа по актуализации картографического материала, а в дальнейшем — проведение аналитического картографического сопоставления, что, несомненно, представляет научный интерес в исследованиях по биоразнообразию на территории России.

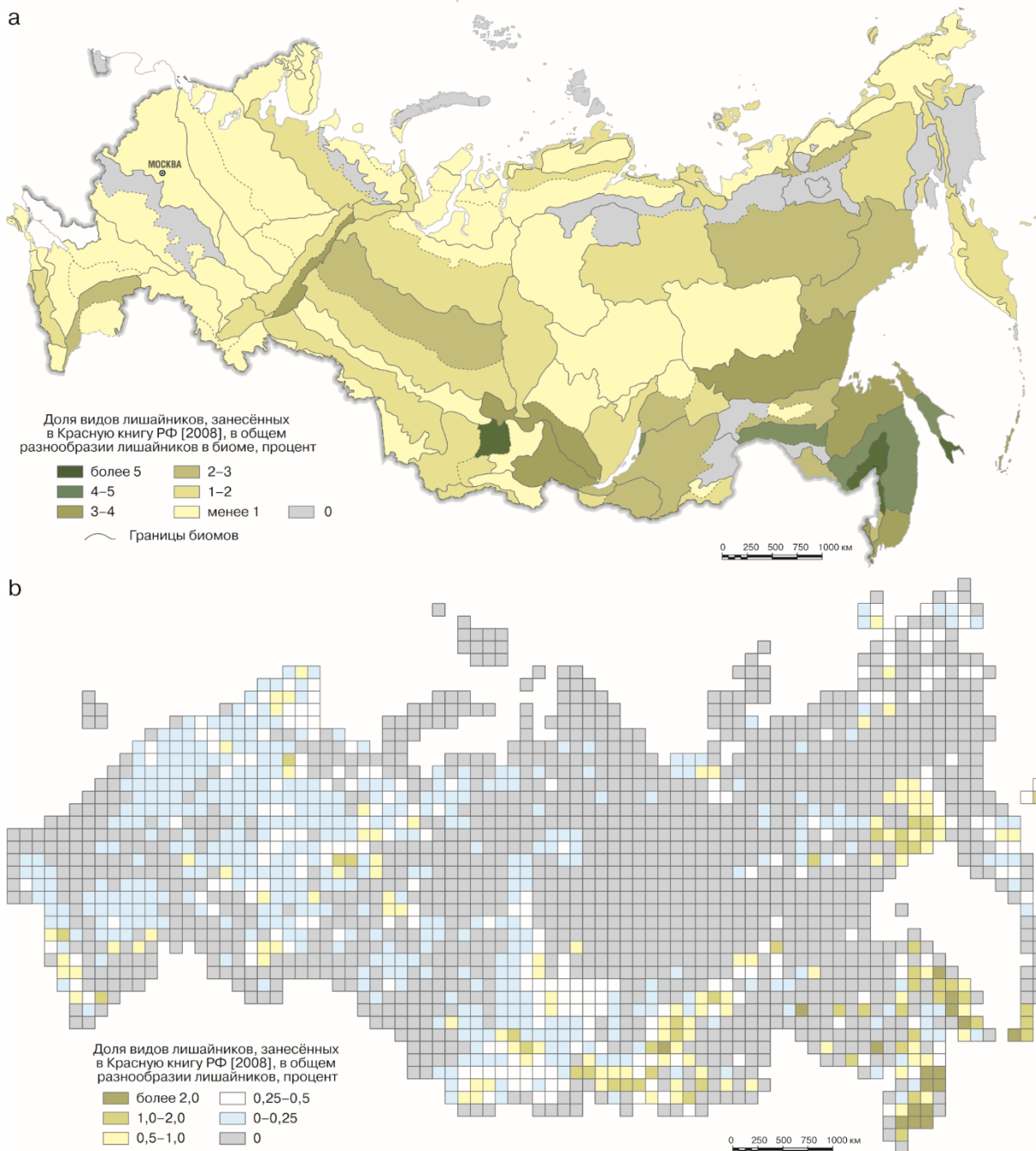
## ВЫВОДЫ

С помощью возможностей геоинформационной системы была сгенерирована грид-модель данных, построенная на основе ячеек размерностью 100×100 км и полностью покрывающая территорию России. Данная модель предназначена для интеграции различных типов данных в единую систему, что даст возможность проведения комплексных анализов с целью выявления взаимосвязей между различными аспектами биоразнообразия с использованием ГИС-технологий.

Разработан алгоритм преобразования атрибутивной, полигональной и точечной темы с сохранением информации в грид-модель.

---

<sup>1</sup> Приказ Минприроды России от 23 мая 2023 г. № 320 «Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации»



*Рис. 7. Доля охраняемых видов в общем разнообразии лишайников:  
а) в пределах биомов; б) в грид-модели*  
**Fig. 7. Proportion of protected species in total lichen diversity:  
а) within biomes; б) in the grid model**

Проведена отработка грид-модели на примере пространственного распределения лишайников для территории Российской Федерации. На основе данных по биоразнообразию лишайников в пределах биомов и картографических материалов по распространению редких и исчезающих видов лишайников были сгенерированы в грид-модель карты по пространственному распределению таких показателей, как биоразнообразие лишайников, численность охраняемых на федеральном уровне видов лишайников и их доля в общем разнообразии лишайников.

Предложенная грид-модель предполагается для использования в рамках подготовки атласа «Биоразнообразие России» для унификации различных разрозненных картографических данных по биоразнообразию с целью как визуализации, так и поиска взаимосвязи пространственного распределения биоразнообразия и других тематических данных.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 1024032200167-2 ИФПБ РАН и № АААА-А16-116042710030-7 Музея землеведения МГУ имени М. В. Ломоносова.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the State Assignment, project No. 1024032200167-2 of the Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences and No. АААА-А16-116042710030-7 of the Lomonosov Moscow State University.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аристархова Е. А., Шадчинов С. М., Сулова Е. Г.* Использование метода сеточного картографирования для изучения распространения лишайников рода *Уснея* на примере Подмосковья. Географический вестник, 2022. № 2. С. 123–138. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-2-123-138.

Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2020. 623 с.

Карта «Биомы России». М-б 1:7 500 000. М., 2018.

*Королева Е. Г., Дикарева Т. В.* Картографирование биоразнообразия аридных регионов Казахстана с оценкой эффективности его территориальной охраны. Аридные экосистемы, 2023. Т. 29. № 4(97). С. 117–126. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-4-117-126.

*Королева Е. Г., Каширина Е. С., Казанджян И. М.* Картографический анализ охраняемых растений и животных Республики Крым. Экосистемы, 2019. № 17. С. 3–14.

*Котова Т. В., Огуреева Г. Н., Присяжная А. А., Снакин В. В., Хрисанов В. Р.* О проекте Атласа «Биоразнообразие России». ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Международной конференции. М.: МГУ, Географический факультет, 2024. Т. 30. Ч. 2. С. 23–36. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-23-36.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.

*Огуреева Г. Н., Бочарников М. В., Емельянова Л. Г., Кадетов Н. Г., Леонова Н. Б., Леонтьева О. А., Микляева И. М., Румянцев В. Ю., Солдатов М. С., Сулова Е. Г.* Картографирование биоразнообразия. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2016. № 5. С. 40–46.

*Полежаев А. Н.* К вопросу сетчатого картирования флоры и растительности севера Дальнего Востока России. Бюллетень МОИП. Отдел биологический, 2024. Т. 129. № 2. С. 45–53. DOI: 10.55959/MSU0027-1403-BB-2024-129-2-45-53.

*Присяжная А. А., Круглова С. А., Хрисанов В. Р., Снакин В. В.* Распространение редких и находящихся под угрозой исчезновения видов мохообразных на территории России. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2019. № 1. С. 11–18.

*Присяжная А. А., Хрисанов В. Р., Круглова С. А., Снакин В. В.* Распространение редких и находящихся под угрозой исчезновения видов лишайников в Российской Федерации. Использование и охрана природных ресурсов в России, 2020. № 1. С. 80–85.

*Присяжная А. А., Хрисанов В. Р., Круглова С. А., Снакин В. В.* Распространение редких и находящихся под угрозой исчезновения видов водорослей в Российской Федерации. Известия РАН. Серия географическая, 2021. Т. 85. № 5. С. 740–749. DOI: 10.31857/S2587556621050083.

*Серегин А. П.* Сеточное картирование флоры: мировой опыт и современные тенденции. Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология, 2013. № 32. С. 210–245.

*Серегин А. П.* Флора Владимирской области: анализ данных сеточного картирования. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 441 с.

*Тишков А. А.* Актуальная биогеография как методологическая основа сохранения биоразнообразия. Вопросы географии, 2012. № 134. С. 15–57.

Флора Центральной Сибири. Новосибирск, 1979. 1048 с.

*Bilz M., Kell S. P., Maxted N., Lansdown R. V.* European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 130 p.

Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe: Status Report 1993. Bilthoven: Coordination Center for Effects, National Institute of Public Health and Environmental Protection, 1993. 163 p.

*Humphries C., Araújo M., Williams P., Lampinen R., Uotila P.* Plant Diversity in Europe: Atlas Florae Europaeae and WORLDMAP. Acta Botanica Fennica, 1999. V. 162. P. 11–21.

*Romanov A. A., Koroleva E. G., Dikareva T. V.* Integration of Species and Ecosystem Monitoring for Selecting Priority Areas for Biodiversity Conservation Case Studies from the Palearctic of Russia. Nature Conservation, 2017. V. 22. P. 191–218. DOI: 10.3897/natureconservation.22.10711.

## REFERENCES

*Aristarkhova E. A., Shadchinov S. M., Suslova E. G.* Using the Grid Mapping Method to Study the Distribution of Lichens of the Genus *Usnea* in the Moscow Region as an Example. Geographical Bulletin, 2022. No. 2. P. 123–138 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2022-2-123-138.

*Bilz M., Kell S. P., Maxted N., Lansdown R. V.* European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 130 p.

Biodiversity of Russian Biomes. Plain Biomes. Moscow: FSBI “IGCE” (Federal State Budgetary Institution “Institute of Global Climate and Ecology”), 2020. 623 p. (in Russian).

Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe: Status Report 1993. Bilthoven: Coordination Center for Effects, National Institute of Public Health and Environmental Protection, 1993. 163 p.

Flora of Central Siberia. Novosibirsk, 1979. 1048 p. (in Russian).

*Humphries C., Araújo M., Williams P., Lampinen R., Uotila P.* Plant Diversity in Europe: Atlas Florae Europaeae and WORLDMAP. Acta Botanica Fennica, 1999. V. 162. P. 11–21.

*Koroleva E. G., Dikareva T. V.* Mapping the Biodiversity of Arid Regions of Kazakhstan with an Assessment of the Effectiveness of its Territorial Protection. Arid Ecosystems, 2023. V. 29. No. 4(97). P. 117–126 (in Russian). DOI: 10.24412/1993-3916-2023-4-117-126.

*Koroleva E. G., Kashirina E. S., Kazandzhyan I. M.* Cartographic Analysis of Protected Plants and Animals of the Republic of Crimea. Ecosystems, 2019. No. 17. P. 3–14 (in Russian).

*Kotova T. V., Ogureeva G. N., Prisyazhnaya A. A., Snakin V. V., Khrisanov V. R.* About the Atlas Project “Biodiversity of Russia”. InterCarto. InterGIS. Proceedings of International Conference.

Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2024. V. 30. Part 2. P. 23–36 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-23-36.

Map “Biomes of Russia”. Scale 1:7 500 000. Moscow, 2018.

*Ogureeva G. N., Bocharnikov M. V., Emelyanova L. G., Kadetov N. G., Leonova N. B., Leontyeva O. A., Miklyaeva I. M., Rummyantsev V. Yu., Soldatov M. S., Suslova E. G.* Biodiversity Mapping. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya (Moscow University Bulletin. Series 5. Geography), 2016. No. 5. P. 40–46 (in Russian).

*Polezhaev A. N.* On the Issue of Grid Mapping of Flora and Vegetation of the Northern Russian Far East. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series, 2024. V. 129. No. 2. P. 45–53 (in Russian). DOI: 10.55959/MSU0027-1403-BB-2024-129-2-45-53.

*Prisyazhnaya A. A., Khrisanov V. R., Kruglova S. A., Snakin V. V.* Distribution of Rare and Endangered Lichen Species in the Russian Federation. Use and Protection of Natural Resources of Russia, 2020. No. 1. P. 80–85 (in Russian).

*Prisyazhnaya A. A., Khrisanov V. R., Kruglova S. A., Snakin V. V.* Distribution of Rare and Endangered Algae Species in the Russian Federation. Izvestia RAN. Seriya Geograficheskaya (News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series), 2021. V. 85. No. 5. P. 740–749 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556621050083.

*Prisyazhnaya A. A., Kruglova S. A., Khrisanov V. R., Snakin V. V.* Distribution of Rare and Endangered Species of Bryophytes in Russia. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya (Moscow University Bulletin. Series 5. Geography), 2019. No. 1. P. 11–18 (in Russian).

The Red Book of the Russian Federation (Plants and Mushrooms). Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2008. 885 p. (in Russian).

*Romanov A. A., Koroleva E. G., Dikareva T. V.* Integration of Species and Ecosystem Monitoring for Selecting Priority Areas for Biodiversity Conservation Case Studies from the Palearctic of Russia. Nature Conservation, 2017. V. 22. P. 191–218. DOI: 10.3897/natureconservation.22.10711.

*Seregin A. P.* Grid Mapping of Flora: World Experience and Modern Trends. Vestnik of Tver State University. Series: Biology and Ecology, 2013. No. 32. P. 210–245 (in Russian).

*Seregin A. P.* Flora of the Vladimir Region: Analysis of Grid Mapping Data. Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2014. 441 p. (in Russian).

*Tishkov A. A.* Actual Biogeography as a Methodological Basis for Biodiversity Conservation. Geography Issues, 2012. No. 134. P. 15–57 (in Russian).