

Н. А. Алексеенко^{1,2✉}, И. В. Зацаринный³, К. Н. Гриппа¹

Изучение влияния антропогенной трансформации среды на населения птиц в промышленно освоенных горных районах Арктики с помощью картографического метода

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация

²ИГ РАН, г. Москва, Российская Федерация

³Рязанский государственный университет им.С.А.Есенина, г. Рязань, Российская Федерация
e-mail: valtuz@mail.ru

Аннотация. Длительное промышленное освоение Хибинского массива в значительной степени сказалось на экосистеме этой территории, в том числе на представителях орнитофауны – которая является объектом исследования, а предметом – территориальное распределение орнитофауны в условиях антропогенной трансформации. Целью исследования было создание картографических материалов, визуализирующих места обитания различных видов птиц, и анализ их связей с различными видами антропогенной деятельности. В работе использовались картографический, геоинформационный, сравнительный и аналитический методы исследования. Работа базировалась на полевых данных и данных дистанционного зондирования сверх-высокого пространственного разрешения, также были использованы данные ведомственных геопорталов и открытые картографические сервисы. В процессе работы были разработаны и апробированы оригинальные методики создания карт по материалам орнитологических учетов. На их основе были сделаны выводы о приуроченности некоторых видов птиц к конкретным ландшафтам, а также о тяготении разных видов птиц к антропогенно-нарушенным ландшафтам и ненарушенным.

Ключевые слова: маршрутные учеты, население птиц, местообитание, антропогенное влияние

N. A. Alekseenko^{1,2✉}, I. V. Zatsarinny³, K. N. Grippa¹

A study of the impact of anthropogenic environmental transformation on bird populations in industrially developed mountainous regions of the arctic using the cartographic method

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²IG RAS, Moscow, Russian Federation

³Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russian Federation
e-mail: valtuz@mail.ru

Abstract. Prolonged industrial development of the Khibiny Massif has significantly affected the ecosystem of this territory, including the representatives of the avifauna, which is the object of the study, while the subject is the territorial distribution of the avifauna under conditions of anthropogenic transformation. The aim of the study was to create cartographic materials visualizing the habitats of various bird species and to analyze their connections with different types of anthropogenic activity. The work employed cartographic, geoinformation, comparative, and analytical research methods. The study was based on field data and remote sensing data of ultra-high spatial resolution, as well as data from departmental geoportals and open cartographic services. During the work, original methodologies for creating maps based on

ornithological survey materials were developed and tested. Based on them, conclusions were drawn about the association of certain bird species with specific landscapes, as well as about the tendency of different bird species to gravitate towards anthropogenically disturbed and undisturbed landscapes.

Keywords: route counts, bird population, habitat, anthropogenic impact

Введение

Хибинский горный массив представляет собой сочетание различных природных комплексов северной тайги, осложненных высотной поясностью, и длительного антропогенного влияния, вызванного активным развитием горнодобывающей отрасли с первой половины прошлого века. Комбинация этих факторов создает уникальные для исследования связи между трансформацией ландшафтов и представителями орнитофауны [7,8,9,13].

Птицы могут быть объединены в различные экологические группы в зависимости от их образа жизни. Одна из самых известных классификаций – по биотопу (участку среды с однотипными условиями рельефа, почвы, климат и т. п.), или по-другому, по *месту обитания*. Группа делится на 4 основных типа: лес, открытое пространство, болота и водные пространства, – причем наиболее заселенным является лес, что связано с большим кормовым разнообразием и яркостью, создающей укрытия и места для гнездования.

Не менее важна классификация *по типу кормления*, так как добыча пищи напрямую связана с приспособленностью вида к местам обитания. Существует 4 *типа передвижения* птиц для добычи корма – лазание, полет, передвижение по земле и плавание, которые также могут подразделяться на несколько типов или несколько из них могут сочетаться у одного и того же вида [3,15].

Антропогенная трансформация ландшафтов заставляет птиц сменять естественные для себя места обитания из-за необратимых изменений окружающей среды, загрязнения или изменения кормовой базы. Тем не менее, человек может быть результатом увеличения численности одних видов и при этом уменьшения других, так как при изменении условий среды аборигенные виды могут заменяться на инвазивные [1,15, 22].

Можно выделить факторы влияния на орнитофауну, которые не образуют как таковых природно-территориальных комплексов, но имеют значительный эффект на различные аспекты жизни птиц. Единой классификации всех факторов влияния нет, но в первую очередь их можно разделить на прямые и косвенные. К прямым можно отнести:

- Непосредственное уничтожение птиц в результате охоты, столкновения с антропогенными объектами (ЛЭП, автомобили, здания) или уничтожения гнёзд.
- Фактор беспокойства.

Косвенные факторы представляют собой опосредованное влияние, в основном через изменение окружающей среды: физическое, различные виды загрязнения, биологические изменения, изменение климата – и в данной работе не рассматриваются [12,14,16].

Цель работы - *определение и анализ мест обитания различных видов птиц, измененных в связи с антропогенной деятельностью*. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Выявление факторов антропогенной трансформации среды на изучаемой территории.
- Создание карт антропогенной трансформации среды.
- Создание карт природно-территориальных комплексов учетных маршрутов.
- Распределение суммарных данных орнитологических учетов по природно-территориальным комплексам.
- Анализ распространения популяции различных видов птиц.

Показатель населения птиц имеет большой вес в оценке экологической составляющей территории, состояние которой сильно зависит от деятельности человека.

Гипотеза исследования предполагала возможность изучения структуры населения птиц в антропогенно преобразованных горных и предгорных районах Хибинского массива посредством картографического анализа.

Методы и материалы

В российской школе орнитологии существует несколько основных методов учета птиц, используемых в зависимости от поставленных задач: площадной (метод картографирования или картирования), маршрутный (линейный), точечный. Однако, стоит понимать, что все они несут в большой степени субъективный характер, так как птицы иногда могут быть крайне динамичным, иногда – очень незаметным объектом среды. В исследованиях всегда присутствует какая-то доля погрешности их оценки. Также важное значение в учете играет характер пребывания птиц на территории – являются ли они оседлыми или зимующими, кочующими или перелетными.

Материалами для данного исследования служат разновременные полевые данные результатов маршрутных учетов птиц по методу Ю. С. Равкина на юго-западный район Хибинского горного массива, полученные И. В. Зацаринным. В процессе прохождения маршрута указывалась его дата, природная зона (и ее приблизительное положение относительно начала маршрута), виды встреченных птиц и их количество. В самой таблице указывалось число встреченных особей (в скобках число встреч), также были дополнительные обозначения: *pr* – пара, ♂ – самец, ♀ – самка, *juv* – птенец, *gn* – обнаружена / вспугнута самка, насиживающая кладку. При обработке данных *pr* считалось за 2 особи, а ♂, ♀ и *gn* за одну, птенцы не учитывались [2,6,10].

Результаты маршрутных учетов значительно зависят от соотношения полосы учета по маршруту и его длины, соответственно при максимальной ширине и длине достоверность будет выше. Также, благодаря значительной площади исследования, в оценке могут быть учтены различные природно-территориальные комплексы, что в некоторых случаях делает результаты более репрезентативными, чем при обходе

одного участка. Процесс учета состоит в определении вида птицы и расстояния до нее на протяжении маршрута, после при проведении обработки полученных данных применяется специальная формула пересчета, благодаря которой можно достаточно точно определить плотность населения птиц [5,11].

Опыт картографирования орнитофауны имеет долгую историю. Орнитологические карты делятся на несколько типов, которые можно в общем виде описать как карты ареалов: границ ареалов, ареалов местонахождения, кадастрово-справочные, стандартных географических сеток, структуры ареалов вида [4].

Объединяет все орнитологические карты отображение информации, в основном, качественных характеристик (распространение видов), иногда могут отображаться количественные характеристики, например, данные о населении птиц. Однако, эта группа карт не имеет единой типологии или системы, так как в зависимости от различных факторов (особенно масштаба исследований) итоговые карты будут значительно отличаться.

Первый этап картографической части работы состоял в создании карты антропогенной нагрузки и выделении биотопов вдоль учетных маршрутов. При этом использовались: карта растительных сообществ Хибинского горного массива [16], данные кадастровой карты портала пространственных данных «Национальная система пространственных данных» (<https://nspd.gov.ru/>), снимки съемочной системы Landsat 8 за ранний весенний и поздний летний период, цифровая модель ArcticDEM, данные OpenStreetMap), данные зимней съемки БПЛА, спутниковые снимки высокого разрешения открытых сервисов (ESRI, Yandex и Google Earth).

Карта антропогенных объектов отображает все объекты, которые могут влиять на население птиц в юго-западном районе Хибинского горного массива: озера площадью более 15 000 м² и реки длиной более 500 м, автомобильные дороги (асфальтированные и грунтовые), железные дороги и ЛЭП, границы населенных пунктов (выделены разные типы застройки), рудники, карьеры, хвостохранилища и обогатительные фабрики, горнолыжные курорты, крупные туристические базы, популярные пешие маршруты. И дополнительно на карту были вынесены границы Хибинского национального парка и Ботанического сада.

Следующим этапом было составление карты основных биотопов вдоль учетных маршрутов в пределах буферных зон:

- 100 м – лесные массивы и крутые безлесные высокогорные склоны.
- 200 м – разреженная лесная растительность, открытые водные пространства и участки застройки.
- 300 м – безлесные участки.

Так как разные виды птиц заселяют определенные типы биотопов, были выделены: березовый лес, елово-березовый лес, смешанный лес, березово-еловый лес, еловый лес, заболоченные участки (слабозалесенные и сильнозалесенные), редколесья и криволесья, тундра (кустарничковая, мохово-лишайниковая и гольцовая), травяно-кустарниковые заросли в районе охранных зон ЛЭП, луговые сообщества, антропогенные объекты [17,18, 19, 20, 21].

Всем выделяемым биотопам присуждалось несколько характеристик: крутизна склона, высота, размер крон, сомкнутость крон и антропогенная нагрузка, которая сильно изменялась в зависимости от расположения объектов и близости к горным разработкам или застройке. Выделялось 3 типа антропогенной нагрузки: низкая, средняя и высокая, дополнительно в скобках указывалось чем она представлена.

Для того, чтобы распределить суммарные количественные характеристики по выделенным биотопам каждого маршрута требовалось выполнить их статистическую обработку. Для этого исходные данные по маршрутам были переведены в табличный формат Excel, на каждом маршруте на основе количества птиц рассчитывалась плотность популяции видов. С созданных карт биотопов была получена информация о суммарной площади учета по маршрутам и доле всех биотопов от общей площади на каждом маршруте. Расчеты выполнялись на языке программирования Python, с использованием библиотек pandas, numpy, seaborn, matplotlib и scipy, с применением коэффициента корреляции Спирмена. Этот метод был выбран из-за его устойчивости к выбросам данных и нелинейной взаимосвязью между площадью биотопов и плотностью птиц.

Для отражения антропогенного воздействия на основе ранее созданной карты вокруг различных типов объектов были созданы различные буферные зоны, которым был присвоен балл антропогенной нагрузки. Задание буферных зон выполнялось комплексно – как на основе имеющихся научных исследований в аналогичных ландшафтах, так и эмпирическим путем, с учетом известных особенностей исследуемой территории. Всего было решено выделено 5 категорий с разным баллом нарушенности. Далее для каждого маршрута по полученным данным рассчитывался средневзвешенный балл антропогенного влияния. Таким образом были получены данные о том, какие маршруты в большей степени подвержены воздействию человека, а какие в меньшей.

В результате ни один маршрут не имеет балл нагрузки ниже 3, следовательно все эти территории можно считать среденарушенными. Есть явно выделяющиеся 3 участка с самой высокой нарушенностью, они проходят в непосредственной близости от территорий горных разработок и практически полностью лежат в зоне максимальной нарушенностью (за исключением небольшой части маршрута «Северный склон горы Юкспорр – Юкспорр – долина Гакмана»).

Далее, на основе средних баллов антропогенной нагрузки и плотности птиц на маршрутах, был рассчитан коэффициент Спирмена, позволяющий оценить приуроченность представителей орнитофауны к территориям с разной степенью трансформации.

Результаты и обсуждение

В результате применения коэффициента корреляции Спирмена для обработки данных орнитологических учетов и биотопов на маршруте была получена таблица данных с рассчитанной вероятностью встречи конкретного вида птиц в определенном биотопе. Помимо числовых значений в матрице также присутствует цветовая шкала, красные оттенки обозначают положительную вероятность встретить вид, синие – отрицательную. Присутствуют также серые ячейки

«0.00», которые в большинстве случаев выделяются из-за крайне низких значений численности и плотности, что особенно заметно по тем видам, у которых нули наблюдаются во всех биотопах, вероятно, эти виды были встречены единично. Часть достоверных значений была проверена на ошибки и вычисленные данные совпали с известной информацией о населении птиц в Хибинах.

Сравнение приуроченности видов к антропогенным объектам, рассчитанную по баллам антропогенной нагрузки, и приуроченность к комплексу антропогенных объектов, рассчитанному по корреляции видов и биотопов, показывает схожие результаты. Так, тяготеющие к человеку виды: ворона серая, зарянка, мухоловка-пеструшка, обыкновенный снегирь, рябинник, домовый воробей и певчий дрозд, – по матрице корреляций имеют значения не менее 0,3, что говорит о высокой приверженности этих видов к антропогенным объектам. В то же время избегающие человека виды: камышовая овсянка, обыкновенная кукушка, зимняк, обыкновенная каменка, хрустан, пуночка, обыкновенная зеленушка, луток, чернозобая гагара, обыкновенная крачка и перевозчик, – наоборот имеют отрицательные значения корреляции к антропогенным объектам (не более -0,19).

Заключение

Таким образом, в ходе работы было проведено исследование возможностей создания картографических материалов по данным маршрутных орнитологических учетов. Разработанный алгоритм с применением коэффициента корреляции Спирмена, а также выявления закономерностей распределения населения птиц на антропогеннонарушенных природных комплексах в районе Кирово-Апатитской агломерации.

Благодарности

Работа выполнена по Госзаданию FMWS-2024-0009 №1023032700199-9 и «Цифровые технологии и методы картографии, геоинформатики и дистанционного зондирования в географических исследованиях», аппаратное и программное обеспечение предоставлены Центром коллективного пользования «Геопортал МГУ»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быков В. Е. Антропогенное воздействие на лесные экосистемы и гнездящихся птиц // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Том 17. – № 4. – С. 614-623.
2. Витер С. Г. Орнитологические наблюдения в ходе кратковременной экспедиции в юго-восточную часть Хибин // Русский орнитологический журнал. – 2015. – Том 24. – № 1219. – С. 4274-4280.
3. Гудина А. Н. Методы учета гнездящихся птиц. Картирование территорий. Запорожье: Дикое поле. – 1999. – С. 242.
4. Емельянова Л. Г., Огуреева Г.Н. Биogeографическое картографирование: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, – 2026. – 108 с.
5. Захарова Н. Ю. Количественные методы учета птиц // Вестник МГПУ. Серия: «Естественные науки» – 2014. – Т. 13. – № 1. – С. 42-51.

6. Зацаринный И. В., Грибова М. О., Варюхин В. С. К орнитофауне города Апатиты и его окрестностей (Мурманская область) // Русский орнитологический журнал – 2017. – Т. 26. – № 1520. – С. 4583-4587.
7. Карпачев И. П., Жиров В. К., Загвоздина О. И., Крымская М. М. Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения Хибинского горно-химического комплекса Мурманской области // Вестник МГТУ. – 2011. – Т. 14. – № 3. – С. 552-560.
8. Колесников С. Ф., Горбатов Е. С. Анализ ландшафтной структуры Хибин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2021. – Т. 65. – № 1. – С. 80-89.
9. Лукашов А. А. Геоэкологические проблемы добычи и обогащения апатит-нефелиновых руд в Хибинах // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли. – 2021. – С. 52-60.
10. Наумов Р. Л. Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. – Москва: Издательство АН СССР. – 1963. – С. 137.
11. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. — Новосибирск. – 1967. – С. 66–75.
12. Сенатор С. А., Никитин Н. А., Саксонов С. В., Раков Н. С. Факторы, определяющие формирование флоры железных дорог // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1-1. – С. 261-266.
13. Хибины: природа и человек // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кольский научный центр Российской академии наук, Институт проблем промышленной экологии Севера и др. – Санкт-Петербург: Свое издательство. – 2022. – С. 308.
14. Шилин М. Б., Леднова Ю.А., Меньшакова М.Ю., Гайнанова Р.И., Румянцева Р.Е. Взаимодействие птиц с линейными техническими объектами // Известия СПбЛТА. – 2024. – № 247. – С. 154-172.
15. Шилин М. Б., Леднова Ю.А., Меньшакова М.Ю. и др. Птицы в техносфере // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – Т. 0. – № 246. – С. 67-89.
16. Юргенсон П. Б. Роль фактора беспокойства в экологии зверей и птиц // Русский орнитологический журнал. – 2013. – Том 22. - № 891. – С. 1683-1689.
17. Akresh M.E., McInvale S.L., King D.I. A meta-analysis of edge effects on nesting success in forest and shrubland birds of eastern North America // Journal of Field Ornithology. – 2024. – Vol. 95.
18. Benítez-López Ana, Alkemade Rob, Verweij P.A. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis // Biological Conservation. – 2010. – Vol. 143. – P. 1307-1316.
19. Bicudo Thiago, Anciães Marina, Arregui Lucia, Gil Diego Effects of Forest Fragmentation on Feather Corticosterone Levels in an Amazonian Avian Community // International Journal of Ornithology. – 2020. – Vol. 67. – P. 229-245.
20. Gao M., Guo Y. Bird mortality at tailings ponds: possible threats and solutions, with a particular focus on East Asia // Forktail. – 2019. – Vol. 35. – P. 43-49.
21. Hawkes Virgil C., Hentze Nathan, Gerwing Travis G. Trends in avian use of reclaimed boreal forest habitat in Canada's oil sands // Avian Conservation and Ecology. – 2021. – Vol. 16. – P. 5-45.
22. Morelli F., Beim M., Jerzak L. et al. Can roads, railways and related structures have positive effects on birds? – A review // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2014. – Vol. 30. – P. 21-31.

© Н. А. Алексеенко, И. В. Зацаринный, К. Н. Гринпа, 2026