



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 3 (45). Сентябрь, 2022

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugotek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





Выпуск № 3

От редакции

НЕСМОТЯ НА

Уважаемые читатели, авторы и рецензенты!

В наши трудные времена приходится переоценивать ценности.

Несмотря на то что мы два года назад вошли в ТОП-70 успешных российских журналов (<https://xn--80aafbngēja7auoph0at.xn--p1ai/>), РИНЦ автоматически не включил нас в свое «ядро». Несмотря на то что из-за этого у авторов несколько снизился интерес к нашему журналу, с нами продолжают сотрудничать известные ученые. Несмотря на уменьшение числа поданных статей, мы, как и обещали, ужесточили критерии, что увеличило долю отвергаемых рукописей (к сожалению). Несмотря на то что ВАК изменил условия включения в Перечень, мы изменили состав редколлегии и подали заявку на расширение списка специальностей, добавив «Ботанику». Несмотря ни на что мы продолжаем попытки к росту и вновь поднялись в рейтинге журналов РИНЦ (за 2021 г.) – до 375-го места из 4247 российских журналов и 34-го из 217 журналов по биологии (https://elibrary.ru/title_profile.asp?id=37825). В пересчете на условные 100 журналов это соответственно 9-е и 16-е места. Журнал «Экология» занимает условные 7-е и 12-е места (https://elibrary.ru/title_profile.asp?id=8276). Несмотря на отставание, нам есть куда расти.

?	Место в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2021 год	375
?	Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2021 год по тематике "Биология"	34

*С неизменной готовностью к сотрудничеству,
редколлегия электронного журнала «Принципы экологии»*



Содержание № 3. 2022

От редакции

Несмотря на

3

Оригинальные исследования

- | | | |
|---|---|---------|
| Барбазюк Е. В. | <i>Степная российско-казахстанская приграничная зона как территория повышенной гибели редких дневных хищных птиц на лэп (на примере административных областей волго-уральского региона)</i> | 4 – 16 |
| Ивантер Э. В. | <i>К популяционной экологии средней бурозубки (<i>Sorex saesutiens laxm.</i>) В европейской части ареала сообщение 2. Территориальность, участки обитания. Экология питания</i> | 17 – 30 |
| Лазарева Г. А.,
Шахова Н. А.,
Анисимова О. В. | <i>Оценка поступления загрязняющих веществ в угличское водохранилище с поверхностным стоком с прибрежной территории</i> | 31 – 42 |
| Пристова Т. А. | <i>Содержание углерода в растениях среднетаежных лиственных фитоценозов республики коми</i> | 43 – 49 |
| Румянцев Д. Е., Во-
робьева Н. С. | <i>Географические особенности динамики радиального прироста тополя дрожащего в отдельных регионах русской равнины</i> | 50 – 60 |
| Скугорева С. Г.,
Домрачева Л. И.,
Кутявина Т. И.,
Абдухаллилов О. М.,
Забубенина Ю. С.,
Ашихмина Т. Я. | <i>Оценка токсичности почвы, загрязненной бенз[а]пиреном</i> | 61 – 69 |
| Шитиков В. К.,
Зинченко Т. Д.,
Головатюк Л. В. | <i>Оценка критических уровней загрязнения водных объектов на основе статистического распределения встречаемости видов макрозообентоса</i> | 70 – 77 |

Синописис

- | | | |
|----------------|----------------------------------|---------|
| Артемьев А. В. | <i>Птицы заповедника «Кивач»</i> | 79 – 80 |
|----------------|----------------------------------|---------|

Письма в редакцию

- | | | |
|---------------|---------------------------------|---------|
| Коросов А. В. | <i>Уж продвигается на север</i> | 81 – 84 |
|---------------|---------------------------------|---------|



УДК 598.279

СТЕПНАЯ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКАЯ ПРИГРАНИЧНАЯ ЗОНА КАК ТЕРРИТОРИЯ ПОВЫШЕННОЙ ГИБЕЛИ РЕДКИХ ДНЕВНЫХ ХИЩНЫХ ПТИЦ НА ЛЭП (НА ПРИМЕРЕ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА)

БАРБАЗЮК

Евгений Владимирович

к. б. н., Институт степи УрО РАН, argentatus99@yandex.ru

Ключевые слова:

приграничная зона
редкие дневные
пернатые хищники
жертвы поражения
электротоком
линии электропередачи
степные ландшафты
Россия
Казахстан

Аннотация: Работа посвящена проблеме гибели редких дневных хищных птиц на низковольтных линиях электропередачи на территории степного и полупустынного Волго-Уральского региона в пределах Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Самарской и Оренбургской областей Российской Федерации. В период с 2010 по 2021 г. удалось собрать данные о гибели более 200 дневных пернатых хищников в районе исследования и установить точные GPS-координаты для 136 жертв поражения электротоком. На необорудованных птицезащитными устройствами линиях электропередачи в Волго-Уральском регионе гибнут представители семи видов краснокнижных хищных птиц. К данным видам относятся курганник *Buteo rufinus*, змееяд *Circaetus gallicus*, могильник *Aquila heliaca*, степной орел *Aquila nipalensis*, орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*, кобчик *Falco vespertinus* и степная пустельга *Falco naumanni*. Выявлено крайне неравномерное распределение погибших птиц в районе исследования и обнаружена достаточно четкая привязка погибших птиц к границе с Республикой Казахстан. Краснокнижные орлы, орланы и мелкие соколы погибали от удара электротоком в пределах 0.78–114.96 км от границы с Казахстаном, в среднем на расстоянии 18.29 ± 1.64 км ($n = 136$). При этом 90 % всех птиц гибли в пределах сравнительно узкой приграничной полосы шириной 40 км. Общее количество погибших птиц в диапазонах 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 и 100–120 км достоверно отличалось между собой средними значениями рангов (тест Фридмана: $\chi^2 = 26.15$, $df = 5$, $p = 0.00008$, $n = 7$). При попарном сравнении диапазонов расстояний достоверные различия в количестве погибших птиц появлялись уже между интервалами 0–20 км и 40–60 км (тест Вилкоксона: $Z = 2.37$, $p = 0.02$, $n = 7$) и далее сохранялись на уровне $p = 0.02$ при увеличении расстояния до границы. Подобное притяжение птиц к казахской границе в пределах российской территории можно объяснить снижением антропогенной нагрузки и фактора беспокойства на фоне улучшения кормовой базы (увеличение количества грызунов и саранчовых на пастбищах и залежных землях) в приграничной зоне. Полученные данные позволяют рекомендовать приоритетную изоляцию птицепасных линий электропередачи, в первую очередь находящихся в пределах 0–20 и 0–40 км от границы.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 08 июля 2022 года

Подписана к печати: 25 сентября 2022 года

Введение

Проблема гибели птиц от электротока на линиях электропередачи в странах СНГ и ряде сопредельных государств хорошо известна и периодически обсуждается (Пестов, 2005; Guil, Perez-García, 2022; Dixon et al., 2018). Тем не менее информация по отдельным регионам накапливается крайне неравномерно. Так, относительно много сведений о гибели птиц поступает из Калмыкии (Салтыков, Меджидов, 2015; Мацына и др., 2012) и Казахстана (Старилов, 1996; Карякин и др., 2005; Сараев, Пестов, 2011; Воронова и др., 2012; Пестов и др., 2012; Левин, Куркин, 2013; Пестов и др., 2015; Сараев и др., 2019). В то же время крайне мало опубликованных работ по ряду степных приграничных с Казахстаном российских регионов европейской части России: Самарской, Волгоградской, Астраханской областям. Между тем распад Советского Союза и образование новых охраняемых границ с особым пропускным режимом, изменение природопользования в разных субъектах Российской Федерации в последние десятилетия (забрасывание сельскохозяйственных угодий и активизация использования земель, изменение структуры посевных площадей, переключение с растениеводства на пастбищное скотоводство, появление нефтегазовой электросетевой инфраструктуры), вероятно, могут приводить к изменению пространственных паттернов гибели птиц на обширных территориях. Предполагается, что следствием вышеперечисленных процессов являются образование новых очагов гибели птиц на линиях электропередачи в местах с восстанавливающейся кормовой базой, рост гибели птиц в благоприятных кормовых биотопах с усиливающейся антропогенной нагрузкой, а также снижение гибели птиц в интенсивно осваиваемых районах, где запасы кормовых ресурсов продолжают снижаться. Предположения о том, что границы зон с различной степенью электросетевой опасности могут изменяться со временем в зависимости от экологических условий (состояния и доступности кормовой базы) и в связи с высокой динамичностью населения птиц, высказываются и другими исследователями (Салтыков, Гугуева, 2017).

Работы по одному из описанных в настоящей статье региону, Оренбуржью, показали, что распределение погибших на линиях электропередачи редких дневных хищных птиц по территории этого субъекта РФ про-

исходит крайне неравномерно. Гибель дневных пернатых хищников наблюдалась преимущественно вдоль границы с Казахстаном, в то время как в хорошо освоенных северных и северо-западных районах области она практически отсутствовала (Барбазюк, 2021; Barbazyuk, 2021).

Целью настоящего исследования является рассмотрение географического аспекта гибели на линиях электропередачи дневных хищных птиц, занесенных в Красную книгу РФ (Перечень объектов животного мира..., 2020), в пределах Волго-Уральского региона на территории ряда степных областей России, граничащих с Казахстаном. Актуальность исследования определяется масштабами гибели птиц на линиях электропередачи и недостаточной изученностью проблемы в ряде степных регионов России. Полученные результаты позволяют сконцентрировать природоохранные усилия в достаточно узком пространственном диапазоне и эффективно сократить гибель дневных пернатых хищников на линиях электропередачи в Волго-Уральском регионе.

Материалы

Район исследования в пределах Волго-Уральского региона охватывает Оренбургскую, Самарскую, Саратовскую, Волгоградскую и Астраханскую области. Район расположен преимущественно на крайнем юго-востоке европейской части России. Все области имеют государственную границу с Казахстаном различной протяженности: от 1876 км в Оренбургской до 240 км в Волгоградской области, за исключением Самарской области, которая граничит на юге с Казахстаном в единственной точке. Общая протяженность сухопутной государственной границы района исследования с Казахстаном составляет приблизительно 3232 км (Голунов, 2005; Портал правительства Оренбургской области, 2022).

Район исследования расположен в различных природных зонах: от лесостепной и степной на севере до полупустынной на юге. Преобладает степная зона. Средние максимальные температуры варьируются в пределах изолиний +32 и +38 °С, средние минимальные температуры – в пределах изолиний -24 и -36 °С. Годовое количество осадков изменяется от 400 мм. Количество дней со снежным покровом составляет от 150, при этом средняя высота снежного покрова изменяется примерно от 50 до 100 мм. На территории района преобладают открытые

пространства: разнотравно-дерновиннозлаковые и полынно-дерновиннозлаковые степи. Лишь крайний юг (часть Астраханской области) занимают лерхопопынные и песчанополынные северные пустыни (Национальный атлас России, 2022).

В работе приводятся данные по семи видам дневных хищных птиц, занесенным в Красную книгу МСОП и Красную книгу России. Представители следующих редких видов гибнут от удара электротоком на линиях электропередачи в районе исследования: курганник *Buteo rufinus*, змееяд *Circaetus gallicus*, могильник *Aquila heliaca*, степной орел *Aquila nipalensis*, орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*, кобчик *Falco vespertinus* и степная пустельга *Falco naumanni*. На воздушных линиях электропередачи гибнут и обычные птицы, например представители врановых и обыкновенные пустельги *Falco tinnunculus*, тем не менее в рамках проектов по обследованию птицепасных линейных объектов приоритетное внимание уделяется именно редким птицам, в связи с чем по этой группе накоплен большой статистический массив данных.

Материал для данного исследования, собранный преимущественно в период с 2010 по 2021 г., получен из нескольких источников. 1. Собственные полевые исследования на территории Оренбургской области в период 2010–2020 гг. (Барбазюк, Петрищев, 2013; Барбазюк, 2021; Barbazyuk, 2021). Кроме того, использовался один из отчетов проекта ПРООН / ГЭФ / Минприроды РФ, выполненных коллегами И. В. Карякиным и А. А. Вагиным в 2014 г. на территории Оренбуржья (Карякин, Вагин, 2015). 2. Неопубликованные данные А. В. Салтыкова, полученные в результате полевых выездов на территории Саратовской, Волгоградской и Астраханской областей в 2021 г. (Салтыков, 2021, 2021а, 2021б, 2021в). 3. База данных кольцевания птиц Российской сети изучения и охраны пернатых хищников (База данных кольцевания птиц, 2022). 4. Опубликованные данные по Астраханской области (Пестов, Садыкулин, 2012) и Самарской области (Карякин и др., 2008; Павлов, Сенатор, 2015; Кленина, Бакиев, 2014). Меньше всего данных имеется по Самарской области: зафиксирован всего один случай гибели орла (Павлов, Сенатор, 2015).

Методы

Воздушные линии электропередачи 6–10 кВ (ВЛЭ 6–10 кВ), оборудованные с исполь-

зованием железобетонных опор с горизонтальными металлическими траверсами со штыревыми изоляторами, принадлежат основному государственному сетевому операторам в регионах (ОАО «МРСК Волги» – «Оренбургэнерго», ПАО «Россети Юг» – «Астраханьэнерго», ПАО «Россети Юг» – «Волгоградэнерго», Филиал ПАО «Россети Волга» – «Саратовские распределительные сети» и др.). Сеть птицепасных ВЛЭ 6–10 кВ (на железобетонных опорах с горизонтальными металлическими траверсами) равномерно покрывают всю территорию исследуемых регионов. Линии региональных сетевых операторов дополняет разветвленная электросетевая инфраструктура частных и государственных нефтегазовых компаний во всех без исключения рассматриваемых регионах (кластеры птицепасных ВЛЭ 6–10 кВ на месторождениях и межрайонные линии электропередачи, пролегающие вдоль трубопроводов).

В Оренбургской области выборочное обследование ВЛЭ 6–10 кВ проведено в большинстве степных административных районов. Для поиска погибших птиц выборочно осматривали отрезки ВЛЭ 6–10 кВ, принадлежащих разным операторам. Учет погибших птиц проводился с автомобиля или на пешем маршруте, находки погибших дневных пернатых хищников фиксировались GPS-навигаторами. Подробное описание методики и районов сбора данных в Оренбуржье опубликованы ранее (Барбазюк, Петрищев, 2013; Барбазюк, 2021; Barbazyuk, 2021). В Волгоградской области выборочное экспедиционное орнитологическое обследование ВЛЭ 6–10 кВ проводилось осенью 2021 г. в степном Заволжье, на территории Среднеахтубинского, Быковского, Николаевского, Старополтавского, Палласовского, Ленинского районов (Салтыков, 2021). В Саратовской области в конце лета 2021 г. обследованы Александрово-Гайский, Новоузенский, Питерский степные районы (Салтыков, 2021а), получен возврат кольца погибшего на линиях электропередач могильника в Пугачевском районе (База данных кольцевания птиц, 2022). В Астраханской области в октябре 2011 г. проведен однократный учет на птицепасных линиях, идущих вдоль трубопроводов на территории Наримановского и Лиманского районов (Пестов, Садыкулин, 2012). Осенью 2021 г. полевыми орнитологическими обследованиями были охвачены целый ряд заволжских районов Астраханской области (Салтыков, 2021в). В Самарской области осмотр птицепасных линий

электропередачи проводился в разные годы в Кинельском районе (Карякин и др., 2008), в Волжском, Ставропольском районах (Клемина, Бакиев, 2014), Борском и Пестравском районах (Павлов, Сенатор, 2015). Все обследования были направлены на поиск и выявление районов и участков линий электропередачи с максимально возможными показателями смертности птиц для привлечения наиболее широкого внимания ученых, общественности и правоохранительных органов к проблеме гибели птиц.

Для большинства погибших птиц установлены точные GPS-координаты. Для шести погибших орланов-белохвостов в Астраханской области (Салтыков, 2021б) и группы из трех птиц (змееяд, курганник и степной орел) также в Астраханской области (Пестов, Садыкулин, 2012) точки выбраны произвольно в пределах ВЛЭ 6–10 кВ, на которых они достоверно погибли. Точки ставились на максимальном удалении от границы с Казахстаном в пределах линий электропередачи. Далее они были включены в статистический анализ для проверки нулевой гипотезы: связь количества жертв в различных интервалах расстояний до границы отсутствует. Параллельно проведен аналогичный анализ без включения этих девяти точек для сопоставления результатов. Расстояние до границы с Казахстаном измерялось в Google-картах. От центра пунсона с GPS-координатами погибшей птицы откладывался перпендикуляр до линии границы на максимально увеличенном масштабе карты.

Поскольку данные были распределены не по нормальному закону, для анализа пространственного распределения находок погибших хищных птиц использовались непараметрические методы статистики. Расчеты проводились в программе Statistica 10. В программе ArcMap 10.4.1 построена карты встреч погибших птиц и карта плотности ядер распределения точечных объектов. Классификация плотности ядер проведена по методу естественных границ.

Результаты

В общей сложности получены точные координаты 136 птиц, погибших от электроток на ВЛЭ 6–10 кВ в пределах административных районов Волгоградской, Саратовской, Самарской и Оренбургской областей

(рис. 1).

Общее количество погибших птиц с точной привязкой составило 136, при этом больше всего погибших птиц отмечено в Оренбургской области и единственный случай в Самарской. Еще более 60 погибших птиц, преимущественно степных орлов, зафиксировано в Астраханской области на отдельных линиях электропередачи без указания точных GPS-координат. Погибшие на линиях электропередачи дневные пернатые хищники находились в пределах 0.78–114.96 км от границы с Казахстаном, в среднем на расстоянии 18.29 ± 1.64 км ($n = 136$) (табл. 1).

При этом отмечены достоверные различия в средних значениях расстояний в трех областях, а максимальный размах значений зафиксирован в Волгоградской области (рис. 2).

Количество погибших птиц на линиях электропередачи в районе исследований увеличивалось по мере приближения к границе с Казахстаном, при этом 90 % всех погибших дневных пернатых хищников приходилось на сравнительно узкую приграничную полосу шириной 0–40 км (табл. 2, рис. 3). Аналогичная картина наблюдалась и в Астраханской области. Так, на отрезках линий электропередачи в пределах 5–21 км от границы с Казахстаном в 2021 г. зафиксировано 67 погибших птиц, большинство которых относилось к дневным пернатым хищникам (Салтыков, 2021б). Еще несколько особей отмечено в пределах 120–130 км от границы (Пестов, 2012).

Общее количество погибших птиц в диапазонах 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 и 100–120 км достоверно отличалось между собой средними значениями рангов (тест Фридмана: $\chi^2 = 26.15$, $df = 5$, $p = 0.00008$, $n = 7$). Включение в анализ девяти погибших птиц, шесть из которых относятся к орлану-белохвосту, дает аналогичные различия в средних значениях рангов и высокую статистическую значимость. При попарном сравнении диапазонов расстояний достоверные различия в количестве погибших птиц появляются уже между диапазонами 0–20 км и 40–60 км (тест Вилкоксона: $Z = 2.37$, $p = 0.02$, $n = 7$) и сохраняются на уровне $p = 0.02$ далее при увеличении расстояния до границы (табл. 3).

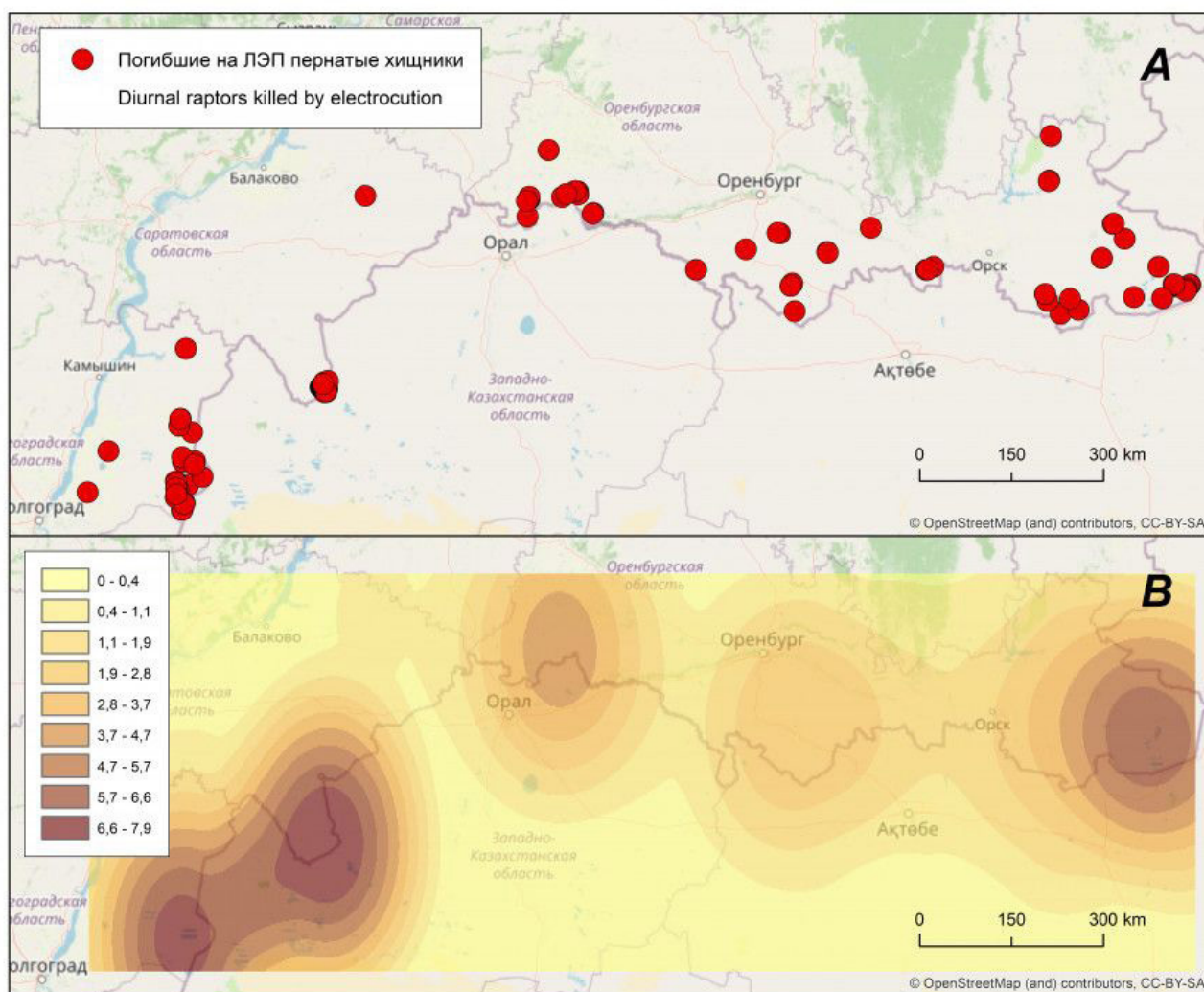


Рис. 1. Находки погибших дневных пернатых хищников в районе исследования (А) и карта плотности ядер распределения находок погибших птиц в районе исследования (В). В легенде к карте В показано ранжированное количество точек-находок на квадратный километр

Fig. 1. The findings of the dead diurnal birds of prey in the study area (A) and a Kernel Density map showing distribution of dead birds across the study area (B). The legend to map B shows the predicted density of points per square kilometer

Таблица 1. Количество дневных хищных птиц, погибших на ВЛЭ 6–10 кВ в различных областях, и расстояние до границы с Казахстаном

	Расстояние до границы с Казахстаном, км					
	mean	SE	median	min	max	n
Астраханская область*	-	-	-	< 5	> 110	> 60
Волгоградская область	18.71	4.03	12.82	4.57	107.69	32
Саратовская область	9.67	2.12	9.74	2.07	70.96	31
Самарская область	-	-	-	114.96	114.96	1
Оренбургская область	20.48	1.84	18.11	0.78	58.97	72
Итого	18.29	1.64	11.55	0.78	114.96	136

Примечание. * – точные GPS-координаты погибших птиц по Астраханской области отсутствуют.

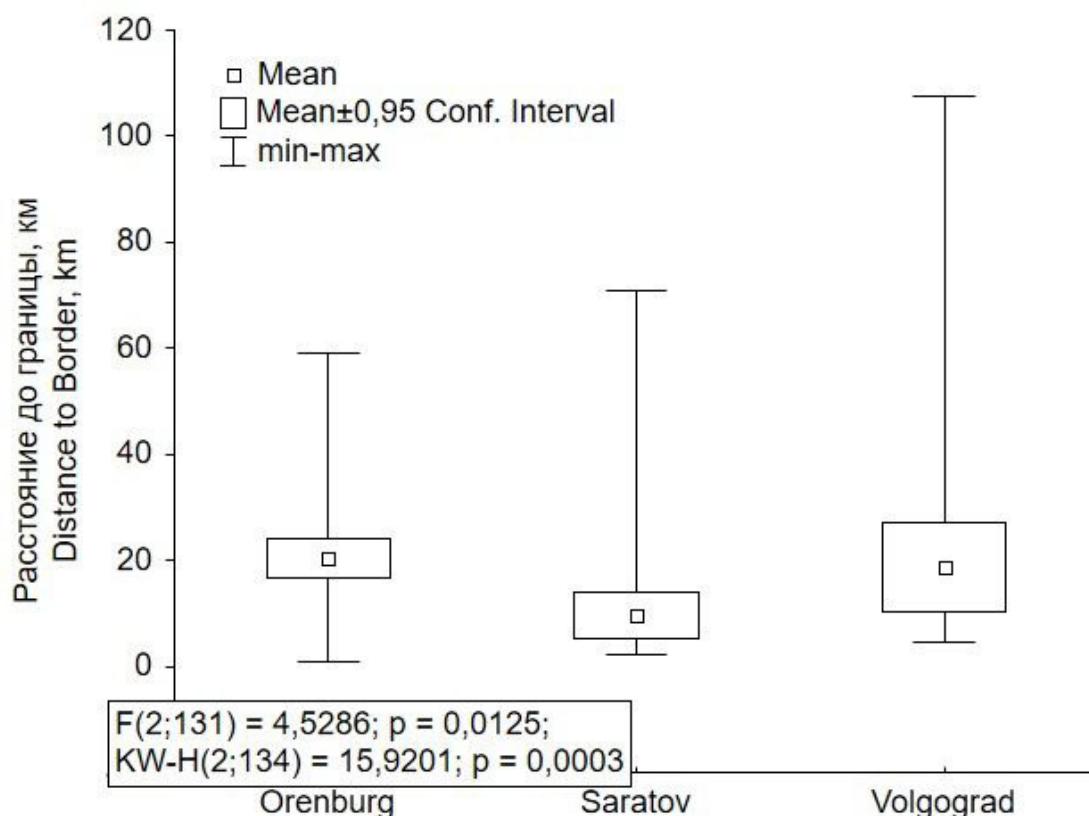


Рис. 2. Расстояния до казахской границы, в пределах которых фиксировали погибших пернатых хищников на ВЛЭ 6–10 кВ в Оренбургской, Саратовской и Волгоградской областях

Fig. 2. Distance to the Russia-Kazakhstan border for birds of prey died by electrocution in the Orenburg, Saratov and Volgograd provinces

Таблица 2. Видовой и количественный состав птиц, погибших в Оренбургской, Самарской, Саратовской и Волгоградской областях от удара электротоком на разном удалении от границы с Казахстаном

Таксон	Расстояние до границы с Казахстаном, км						Итого
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	
Курганник <i>Buteo rufinus</i>	13	7	0	0	0	0	20
Змееяд <i>Circaetus gallicus</i>	1	0	0	0	0	0	1
Могильник <i>Aquila heliaca</i>	13	6	3	1	0	0	23
Степной орел <i>Aquila nipalensis</i>	52	5	0	0	1	0	58
Род Орлы <i>Aquila</i> *	4	3	1	0	0	1	9
Кобчик <i>Falco vespertinus</i>	14	1	5	0	0	1	21
Степная пустельга <i>Falco naumanni</i>	1	3	0	0	0	0	4
Итого	98	25	9	1	1	2	136

Примечание. * – в категорию «Род *Aquila*» попали плохо идентифицируемые останки преимущественно степных орлов и могильников.

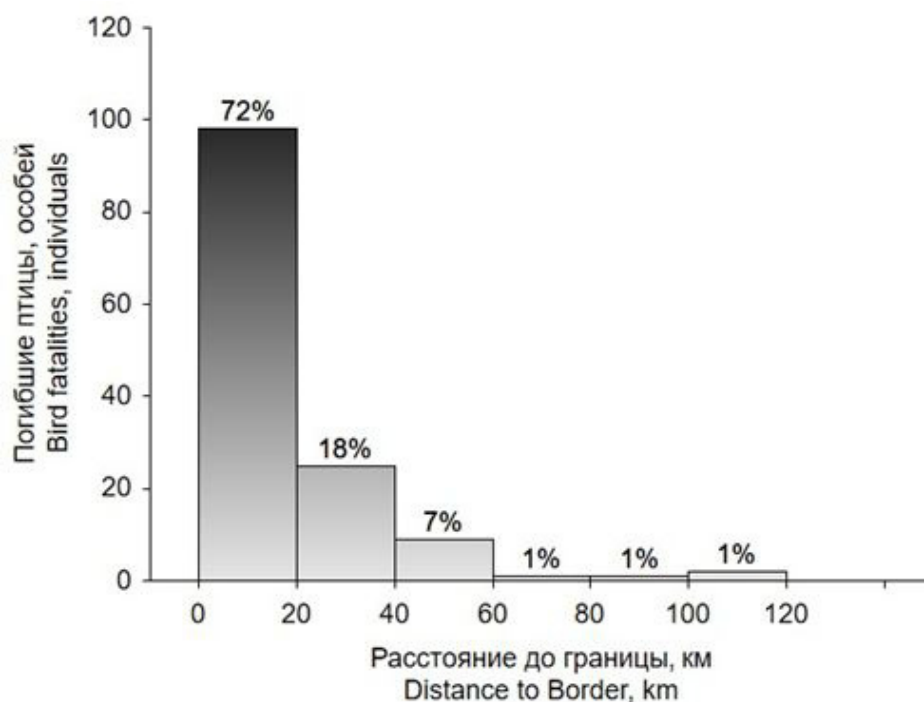


Рис. 3. Гистограмма распределения расстояний до казахской границы, в пределах которых фиксировали погибших дневных пернатых хищников на линиях электропередачи в Оренбургской, Самарской, Саратовской и Волгоградской областях

Fig. 3. Histogram of the distribution of distances to the Russia-Kazakhstan border, within which the dead daytime feathered predators were recorded on power lines in Orenburg, Samara, Saratov and Volgograd provinces

Таблица 3. Различия в количестве погибших птиц в различных диапазонах расстояний (км) до границы с Казахстаном, выявленные с помощью теста Вилкоксона. Показаны уровни значимости p . Данные по Оренбургской, Самарской, Саратовской и Волгоградской областям

Диапазоны, км	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120
0–20	–	0.06	0.02*	0.02	0.02	0.02
20–40	0.06	–	0.17	0.03	0.03	0.04
40–60	0.02	0.17	–	0.11	0.20	0.18
60–80	0.02	0.03	0.11	–	1.00	0.60
80–100	0.02	0.03	0.20	1.00	–	0.59
100–120	0.02	0.04	0.18	0.60	0.59	–

Примечание. * – полужирным шрифтом выделены значимые p -уровни.

Обсуждение

Полученные данные указывают на крайне неравномерное распределение птиц, погибших от удара электротоком на ВЛЭ 6–10 кВ, и на явную тенденцию увеличения количества погибших дневных пернатых хищников в приграничных с Казахстаном районах Российской Федерации. Этому способствует целый ряд факторов как природного, так и антропогенного характера. В их числе снижение лесистости, относительно низкая плотность населения в приграничных с Казахстаном районах, особый пропускной режим, ограничивающий трафик в приграничной зоне,

возрастание доли казахского населения, практикующего выпас скота на пастбищах, забрасывание посевных угодий и появление залежей (Барбазюк, 2021; Barbazyuk, 2021). Как следствие снижения антропогенной нагрузки и фактора беспокойства на фоне улучшения кормовой базы (увеличение количества грызунов и саранчовых на пастбищах и залежных землях) возникает все больше очагов повышенной притяжения дневных хищных птиц в приграничных районах. Важно отметить, что накопление жертв электротока у границы с Казахстаном отмечено и для многих других видов птиц (в том числе

обыкновенных пустельг *Falco tinnunculus* и всех без исключения врановых), по крайней мере для Оренбургской области, и является отдельной темой исследования.

Анализ ситуации с гибелью орлов на линиях электропередачи в Казахстане показывает, что число погибших особей на ВЛЭ 6–10 кВ продолжает увеличиваться. Главным эпицентром гибели дневных хищных птиц был и остается Центральный и Западный Казахстан. При этом сдвиги границ территорий с разной степенью электросетевой опасности в российском приграничье и Восточном Казахстане в 1970–1980-е гг. (Салтыков, Гугуева, 2017) и первые два десятилетия XXI в. (Карякин, 2016) еще только предстоит оценить. Таким образом, российско-казахстанское приграничье со стороны России можно рассматривать как некую переходную зону от российских территорий с низкой гибелью к казахским территориям с высокой гибелью дневных пернатых хищников на линиях электропередачи.

Заключение

В российско-казахстанском приграничье в условиях степных и полупустынных ландшафтов Волго-Уральского региона происходит накопление жертв, погибших от удара электротоком на ВЛЭ 6–10 кВ. Концентрация редких дневных пернатых хищников в этой полосе, которая может приводить к высокой смертности птиц на проходящих здесь линиях, очевидно, связана с более благоприятными условиями. Рядом с российско-казахстанской границей снижается экономическая активность населения и вместе с тем улучшается кормовая база для представителей

отряда Соколообразные и, по-видимому, многих других птиц.

Полученные результаты позволяют сформулировать важный природоохранный вывод. Он заключается в необходимости приоритетной изоляции ВЛЭ 6–10 кВ в приграничных степных и полупустынных областях Российской Федерации, в пределах Волго-Уральского региона. Приоритетная изоляция поможет сэкономить средства и ресурсы энергетических компаний и одновременно быстро достичь максимального природоохранного эффекта. Наиболее уязвимой территорией, как выяснилось, является приграничная полоса шириной до 20–40 км, и приоритетная изоляция ВЛЭ 6–10 кВ птицезащитными устройствами в пределах данной полосы позволила бы очень существенно (до 90 %) сократить гибель редких дневных пернатых хищников. Кроме того, полевые наблюдения показывают возросшую активность мелких частных нефтегазовых компаний на территории, например, приграничного Оренбуржья за последние два десятилетия. Ожидается, что новая, быстро возводимая электросетевая инфраструктура для обслуживания скважин, часто необорудованная птицезащитными устройствами, будет создавать дополнительную антропогенную нагрузку на территорию и вносить свой вклад в смертность птиц на линиях электропередачи в данной уязвимой зоне. Поэтому приоритетная изоляция ВЛЭ 6–10 кВ с учетом расстояния до границы с Казахстаном также крайне важна при строительстве новых и эксплуатации имеющихся нефтегазовых объектов.

Библиография

- База данных кольцевания птиц (Веб-ГИС «Кольцевание») Российской сети изучения и охраны пернатых хищников . URL: <http://rrrcn.ru/ru/ringing/bd> (дата обращения 15.05.2022).
- Барбазюк Е. В. Новые данные о гибели хищных птиц на линиях электропередач в районе оренбургско-казахстанской границы // Вопросы степеведения. 2021. № 2. С. 48–56. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-2-59-67.
- Барбазюк Е. В., Петрищев В. П. Оценка гибели птиц на линиях электропередач 6–10 кВ в степной зоне Оренбуржья // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. № 3 (1). С. 459–462.
- Воронова В. В., Пуликова Г. И., Ким К. К., Андреева Е. В., Беккер В. Р., Айтбаев Т. Влияние различных типов линий электропередачи на гибель птиц в Центральном Казахстане // Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 52–60.
- Голунов С. В. Российско-казахстанская граница: Проблемы безопасности и международного сотрудничества / Под ред. Л. Б. Вардомского. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005. 422 с.
- Карякин И. В. Орлы России и Казахстана: места обитания и зоны электросетевой опасности: Атлас . Новосибирск: Сибэкоцентр, 2016. 36 с.
- Карякин И. В., Вагин А. А. Стимулирование птицезащитных мероприятий на ЛЭП на территориях памятников природы в Оренбургской области : Итоговый отчет по контракту от 17 сентября 2014 года проекта ПРООН / ГЭФ / Минприроды РФ «Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России». Н. Новгород, 2015. 304 с. URL: <http://savesteppe.org/project/ru/work-project> (дата обращения 17.05.2022).

- Карякин И. В., Левашкин А. П., Глыбина М. А., Питерова Е. Н. Оценка уровня гибели хищных птиц на линиях электропередачи 6–10 кВ в Кинельском районе Самарской области ГИС-методами // Пернатые хищники и их охрана. 2008. № 14. С. 50–58.
- Карякин И. В., Новикова Л. М., Паженков А. С. Гибель хищных птиц на ЛЭП в Приаралье, Казахстан // Пернатые хищники и их охрана. 2005. № 2. С. 31–32.
- Кленина А. А., Бакиев А. Г. Первые результаты изучения эффективности птицевозащитных устройств на воздушных линиях электропередачи 6–10 кВ в национальном парке «Самарская Лука» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. № 4. С. 81–85.
- Левин А. С., Куркин Г. А. Масштабы гибели орлов на линиях электропередачи в Западном Казахстане // Пернатые хищники и их охрана. 2013. № 27. С. 240–244.
- Мацына А. И., Мацына Е. Л., Корольков М. А., Бадмаев В. Э., Бадмаев В. Б. Оценка масштабов ежегодной гибели птиц в результате поражения электрическим током на воздушных линиях электропередачи 6–10 кВ в Калмыкии, Россия // Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 186–201.
- Национальный атлас России . URL: <https://nationalatlas.ru/> (дата обращения: 21.05.2022).
- Павлов И. С., Сенатор С. А. К оценке эффективности птицевозащитных устройств на воздушных линиях электропередачи 6–10 кВ в Заволжье Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 4 (2). С. 157–160.
- Перечень объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации : Приложение к приказу № 162 Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24 марта 2020 года «Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации». URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-24.03.2020-N-162/> (дата обращения 15.05.2022).
- Пестов М. В. Проблема «Хищные птицы и ЛЭП» на территории России // Пернатые хищники и их охрана. 2005. № 4. С. 11–13.
- Пестов М. В., Садыкулин Р. Ф. Сравнение уровня гибели птиц на ЛЭП в Астраханской и Атырауской областях, Россия – Казахстан // Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 98–103.
- Пестов М. В., Сараев Ф. А., Шалхаров М. К. Оценка влияния воздушных линий электропередачи средней мощности на орнитофауну Атырауской области, Казахстан // Пернатые хищники и их охрана. 2012. № 24. С. 104–117.
- Пестов М. В., Сараев Ф. А., Терентьев В. А., Нурмухамбетов Ж. Э. Итоги проекта «Оценка влияния воздушных линий электропередачи средней мощности на орнитофауну Мангистауской области (Республика Казахстан)» // Пернатые хищники и их охрана. 2015. № 31. С. 64–74. DOI: 10.19074/1814-8654-2015-31-64-74.
- Портал правительства Оренбургской области . URL: <http://www.orenburg-gov.ru/Info/OrbRegion/Oblast/> (дата обращения 20.05.2022).
- Салтыков А. В. О результатах оценки эффективности птицевозащитных мероприятий на электросетевых объектах в степном Заволжье Волгоградской области : Неопубликованная справка-отчет от 27.09.2021.
- Салтыков А. В. О выявлении участков массовой гибели степных орлов и курганников от электропоражений на ЛЭП в Александрово-Гайском районе Саратовской области : Неопубликованная справка от 26.08.2021а.
- Салтыков А. В. Неопубликованная карта-схема расположения воздушной линии электропередачи ВЛ 10 кВ фидер № 17 ПС «Пироговка» с участками массовой гибели редких видов птиц, занесенных в Красные книги России и Астраханской области от 12.10.2021 г. . 2021б.
- Салтыков А. В. О массовой гибели птиц, занесенных в Красную книгу России и Красную книгу Астраханской области : Неопубликованное письмо в Службу природопользования и ООС Астраханской области от 18.10.2021в.
- Салтыков А. В., Меджидов Р. А. Отчет о научно-исследовательской работе «Совершенствование системы и механизмов управления ООПТ в степном биоме России» по теме: Стимулирование птицевозащитных мероприятий на ЛЭП на приоритетных территориях в Республике Калмыкия . Элиста; М., 2015. 42 с.
- Салтыков А. В., Гугуева Е. В. Руководство по обеспечению орнитологической безопасности электросетевых объектов средней мощности на примере Волгоградской области: Методическое пособие . Волгоград: Крутов, 2017. 76 с.
- Сараев Ф. А., Пестов М. В. Результаты двукратных учетов гибели хищных птиц на линиях электропередачи в южной части Урало-Эмбинского междуречья весной и осенью 2010 года, Казахстан // Пернатые хищники и их охрана. 2011. № 21. С. 106–110.
- Сараев Ф. А., Пестов М. В., Онгарбаев Н. Х., Нурмухамбетов Ж. Э., Мухашов А. Т., Ухов С. В. Результаты учетов гибели птиц на воздушных линиях электропередач в Западном Казахстане (Атырауская и Мангистауская области) // Труды Аксу-Жабаглинского государственного природного заповедника. Шымкент, 2019. Вып. 12. С. 129–136.

- Стариков С. В. Массовая гибель хищных птиц на линиях электропередач в Зайсанской котловине (Восточный Казахстан) // Selevinia. 1996/1997. С. 233–234.
- Barbazyuk E. V. Effects of the Russian-Kazakh frontier zone: Increased mortality of red-listed diurnal birds of prey on overhead power lines in the Orenburg Region frontier steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 817. P. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012011.
- Dixon A., Bold B., Tsolmonjav P., Galtbalt B., Batbayar N. Efficacy of a mitigation method to reduce raptor electrocution at an electricity distribution line in Mongolia // Conservation Evidence. 2018. No 15. P. 50–53.
- Guil F., Perez-García J. M. Bird electrocution on power lines: Spatial gaps and identification of driving factors at global scales // Journal of Environmental Management. 2022. No 301. P. 113890. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113890.

Благодарности

Автор благодарит вице-президента Союза охраны птиц России, к. б. н. А. В. Салтыкова за предоставленные данные о погибших птицах на линиях электропередачи на территории областей Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках плана НИР ИС УрО РАН № ГР АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем».

STEPPE RUSSIAN-KAZAKH BORDER ZONE AS AN AREA OF INCREASED MORTALITY OF RED BOOK DIURNAL BIRDS OF PREY ON POWERLINES (ON THE EXAMPLE OF ADMINISTRATIVE PROVINCES OF THE VOLGA-URAL REGION)

BARBAZYUK
Evgeny Vladimirovich

PhD, Steppe Institute, UB RAS, argentatus99@yandex.ru

Keywords:

border zone
rare diurnal birds of prey
electrocution victims
power lines
steppe landscapes
Russia
Kazakhstan

Summary: The work is devoted to the problem of the death of rare diurnal birds of prey on low-voltage power transmission lines in the steppe and semi-desert Volga-Ural region within the Astrakhan, Volgograd, Saratov, Samara and Orenburg regions of the Russian Federation. In the period from 2010 to 2021, it was possible to collect data on the death of more than 200 diurnal feathered predators in the study area and to establish accurate GPS coordinates for 136 electrocution victims. Representatives of seven species of Red Book birds of prey are dying on power lines in the Volga-Ural region that are not equipped with bird protection devices. They include long-legged buzzard *Buteo rufinus*, short-toed eagle *Circus gallicus*, imperial eagle *Aquila heliaca*, steppe eagle *Aquila nipalensis*, white-tailed eagle *Haliaeetus albicilla*, red-footed falcon *Falco vespertinus* and lesser kestrel *Falco naumanni*. An extremely uneven distribution of dead birds in the study area was revealed and a fairly clear binding of dead birds to the border with the Republic of Kazakhstan was found. Red Book eagles, buzzards and small falcons died from electric shock within 0.78–114.96 km from the border with Kazakhstan, on average at a distance of 18.29 ± 1.64 km ($n = 136$). At the same time, 90% of all birds died within a relatively narrow border strip 40 km wide. The total number of dead birds in the ranges 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 and 100–120 km significantly differed by the average values of the ranks (Friedman's test: $\chi^2 = 26.15$, $df = 5$, $p = 0.00008$, $n = 7$). When comparing the ranges of distances in pairs, significant differences in the number of dead birds appeared already between the intervals of 0–20 km and 40–60 km (Wilcoxon test: $Z = 2.37$, $p = 0.02$, $n = 7$) and then remained at the level of $p = 0.02$ with increasing distance to the border. Such attraction of birds to the Kazakh border within the Russian territory can be explained by a decrease in anthropogenic load and the anxiety factor against the background of an improvement in the food supply (an increase in the number of rodents and locusts in pastures and fallow lands) in the border zone. The obtained data allow us to recommend priority isolation of bird-hazardous power transmission lines, primarily located within 0–20 and 0–40 km from the border.

Received on: 08 July 2022

Published on: 25 September 2022

References

- Barbazyuk E. V. Petrishev V. P. The estimation of the death rate of birds killed through electrocution on 6–10 kV power lines in Orenburg steppe zone, Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2013. No. 3 (1). P. 459–462.
- Barbazyuk E. V. Effects of the Russian-Kazakh frontier zone: Increased mortality of red-listed diurnal birds of prey on overhead power lines in the Orenburg Region frontier steppe, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 817. P. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012011.
- Barbazyuk E. V. New data on the death of birds of prey on power lines near the Orenburg-Kazakhstan border, Voprosy stepovedeniya. 2021. No. 2. P. 48–56. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-2-59-67.
- Bird Ringing Database (Web GIS «Koltsevanie») of Russian Raptor Research and Conservation Network. URL: <http://rrrcn.ru/ru/ringing/bd> (data obrascheniya 15.05.2022).
- Dixon A., Bold B., Tsoimonjav P., Galtbalt B., Batbayar N. Efficacy of a mitigation method to reduce raptor

- electrocution at an electricity distribution line in Mongolia, *Conservation Evidence*. 2018. No 15. P. 50–53.
- Golunov S. V. Russian-Kazakhstan border: issues of security and international cooperation, Pod red. L. B. Vardomskogo. Volgograd: Izd-vo VolGU, 2005. 422 p.
- Guil F., Perez-García J. M. Bird electrocution on power lines: Spatial gaps and identification of driving factors at global scales, *Journal of Environmental Management*. 2022. No 301. P. 113890. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113890.
- Karyakin I. V. Levashkin A. P. Glybina M. A. Piterova E. N. Use of GIS techniques in estimating the level of birds of prey electrocution on 6–10 kV power lines in the Kinel Region of the Samara District, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2008. No. 14. P. 50–58.
- Karyakin I. V. Novikova L. M. Pazhenkov A. S. Electrocutions of birds of prey on power lines in the Aral Sea region, *Kazakhstan, Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2005. No. 2. P. 31–32.
- Karyakin I. V. Vagin A. A. Stimulating of bird-protective actions on power lines in nature monuments of Orenburg province: Itogovyy otchet po kontraktu ot 17 sentyabrya 2014 goda proekta PROON, GEF, Minprirody RF «Sovershenstvovanie sistemy i mekhanizmov upravleniya OOPT v stepnom biome Rossii». N. Novgorod, 2015. 304 c. URL: <http://savesteppe.org/project/ru/work-project> (data obrascheniya 17.05.2022).
- Karyakin I. V. Eagles of Russia and Kazakhstan: ranges and electric-grid danger zones: Atlas. Novosibirsk: Sibekocentr, 2016. 36 p.
- Klenina A. A. Bakiev A. G. The first results on the effectiveness of bird-protective devices on 6–10 kV overhead power lines in the Samarskaya Luka National Park, Samarskaya Luka: *problemy regional'noy i global'noy ekologii*. 2014. No. 4. P. 81–85.
- Levin A. S. Kurkin G. A. The scope of death of eagles on power lines in Western Kazakhstan, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2013. No. 27. P. 240–244.
- List of wildlife objects listed in the Red Book of the Russian Federation: Prilozhenie k prikazu No. 162 Ministerstva prirodnih resursov i ekologii Rossiyskoy Federacii ot 24 marta 2020 goda «Ob utverzhdenii Perechnya ob'ektov zhivotnogo mira, zanesennyh v Krasnuyu knigu Rossiyskoy Federacii». URL: [https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-24.03.2020-N-162/\(data obrascheniya 15.05.2022\)](https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minprirody-Rossii-ot-24.03.2020-N-162/(data obrascheniya 15.05.2022)).
- Macyna A. I. Macyna E. L. Korol'kov M. A. Badmaev V. E. Badmaev V. B. Estimation of sizes of the annual rate of bird mortality caused by electrocution on power lines 6–10 kV in Kalmykia, Russia, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2012. No. 24. P. 186–201.
- National Atlas of Russia. URL: <https://nationalatlas.ru/> (data obrascheniya: 21.05.2022).
- Pavlov I. S. Senator S. A. On the effectiveness of bird-protective devices installed on 6-10 kV overhead power lines in the Trans-Volga region, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2015. T. 17, No. 4 (2). P. 157–160.
- Pestov M. V. Sadykulin R. F. Comparing the rate of bird mortality caused by electrocution in the Astrakhan and the Atyrau districts, Russia – Kazakhstan, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2012. No. 24. P. 98–103.
- Pestov M. V. Saraev F. A. Shalharov M. K. Assessing the impact of power lines in the medium voltage range on birds of the Atyrau district in Kazakhstan, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2012. No. 24. P. 104–117.
- Pestov M. V. Saraev F. A. Terent'ev V. A. Nurmuhambetov Zh. E. The outcome of Project “Assessment of the impact of medium voltage power lines on avifauna in Mangistau Region (Kazakhstan)”, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2015. No. 31. P. 64–74. DOI: 10.19074/1814-8654-2015-31-64-74.
- Pestov M. V. The issue of raptors electrocutions “Raptors and Power Lines” in Russia, *Pernatye hischniki i ih ohrana*. 2005. No. 4. P. 11–13.
- Portal of the Government of the Orenburg region. URL: <http://www.orenburg-gov.ru/Info/OrbRegion/Oblast/> (data obrascheniya 20.05.2022).
- Saltykov A. V. Gugueva E. V. Guidelines for ensuring ornithological safety of power grid facilities of medium power on the example of the Volgograd region: Guidance manual. Volgograd: Krutov, 2017. 76 p.
- Saltykov A. V. Medzhidov R. A. Report on the research work «Improvement of the system and management mechanisms of protected areas in the steppe biome of Russia» as part of the theme «Stimulation of bird protection measures at power lines in priority territories in the Republic of Kalmykia». Elista; M., 2015. 42 p.
- Saltykov A. V. About the mass death of birds listed in the Red Book of Russia and the Red Book of the Astrakhan Province: Neopublikovannoe pis'mo v Sluzhbu prirodopol'zovaniya i OOS Astrahanskoy oblasti ot 18.10.2021v.
- Saltykov A. V. On the identification of sites of mass death of steppe eagles and long-legged buzzards from electrocution on power lines in the Alexandrovo-Gaysky district of the Saratov Province: Neopublikovannaya spravka ot 26.08.2021a.
- Saltykov A. V. On the results of evaluation of the effectiveness of bird protection measures at power grid

facilities in the steppe Trans-Volga region in the Volgograd Province: Neopublikovannaya spravka-otchet ot 27.09.2021.

Saltykov A. V. Unpublished map-layout of the overhead power transmission line 10 kV (feeder No. 17 electrical substation «Pirogovka») with areas of mass death of rare bird species listed in the Red Books of Russia and the Astrakhan Province of 12.10.2021. 2021b.

Saraev F. A. Pestov M. V. Ongarbaev N. H. Nurmuhambetov Zh. E. Muhashov A. T. Uhov S. V. The results of dead bird counts on overhead power lines in Western Kazakhstan (Atyrau and Mangystau regions), *Trudy Aksu-Zhabaglinskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika*. Shymkent, 2019. Vyp. 12. P. 129–136.

Saraev F. A. Pestov M. V. The results of two-time countings of the death of raptors on power lines in the southern part of Ural-Emba Interfluvium in the spring and autumn of 2010, Kazakhstan, *Pernatye hishniki i ih ohrana*. 2011. No. 21. P. 106–110.

Starikov S. V. Mass death of birds of prey on power lines in the Zaisan basin (East Kazakhstan), *Selevinia*. 1996/1997. P. 233–234.

Voronova V. V. Pulikova G. I. Kim K. K. Andreeva E. V. Bekker V. R. Aytbaev T. The impact of power lines on bird mortality in Central Kazakhstan, *Pernatye hishniki i ih ohrana*. 2012. No. 24. P. 52–60.



УДК УДК 591.5:599

К ПОПУЛЯЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ СРЕДНЕЙ БУРОЗУБКИ (*SOREX CAECUTIENS* LAXM.) В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА СООБЩЕНИЕ 2. ТЕРРИТОРИАЛЬНОСТЬ, УЧАСТКИ ОБИТАНИЯ. ЭКОЛОГИЯ ПИТАНИЯ

ИВАНТЕР
Эрнест Викторович

д. б. н., Петрозаводский государственный университет,
ivanter@petrsu.ru

Ключевые слова:

территориальность
индивидуальные
участки
перемещения
пищевой рацион
полифагия
энтомофаг
частота поедания
основные и
второстепенные корма
питательность рациона
полноценная диета

Аннотация: Как показало мечение, рассматриваемый вид из всех землероек отличается наименьшей степенью оседлости (доля возвратов не превышала 10 %), тем не менее для большинства наблюдаемых зверьков было установлено обитание на определенных участках. Согласно нашим данным, для молодых (неразмножающихся) зверьков в пределах 30.5–95.2 кв. м, размножающихся сеголеток – 38.0–80.5, перезимовавших самок – 42.2–75.4, перезимовавших самцов – 85.0–136.0 кв. м. При этом, после того как самки и самцы включаются в размножение, размеры их участков изменяются: у оседлых перезимовавших самок размер участка увеличивается не намного, перезимовавшие же самцы значительно расширяют используемую территорию, включая в нее и участок предыдущего года. По характеру питания обитающая в европейской части ареала средняя бурозубка – типичный энтомофаг. Основным кормом служат насекомые (91 % встреч), паукообразные заметно уступают в этом отношении, другие животные и растительные корма в летнем питании отмечаются редко. Перезимовавшие зверьки значительно чаще потребляют личинок, причем это характерно для всех основных групп насекомых. Расхождение существует и по встречаемости желудков почвенных организмов, которые устойчиво преобладают в рационе зимовавших особей.

© Петрозаводский государственный университет

Подписана к печати: 06 октября 2022 года

Введение

В настоящем сообщении представлены результаты изучения территориальности и питания средней бурозубки, проведенного в северо-восточном Приладожье (Южная Карелия), представляющем для зверьков этого вида северо-западные пределы ареала. При этом, если представители европейских популяций изучены в этом отношении в целом удовлетворительно (имеется не один десяток выполненных здесь и опубликованных на эту тему обстоятельных работ), то исследования бурозубок сибирской части ареала можно буквально пересчитать по пальцам

(Моралева, 1983, 1987, 1088, 1992; Шефтель, 1990; Докучаев, 1981, 1990). Тем не менее в рамках изучения индивидуального территориального поведения средних бурозубок у северо-западных границ видового ареала обращает внимание весьма характерная специфичность, выражающаяся в повышенной территориальности – наличии четких индивидуальных участков с непересекающимися границами и некоторыми другими особенностями поведенческих реакций зверьков этого вида.

Материалы

Территориальность бурозубок изучалась

с помощью повторных отловов и мечения зверьков на экспериментальных площадках, занятых вторичными лесами, расположенных на берегу лесного озера. Использовались пружинные живоловушки с приманкой из ржаного хлеба с подсолнечным маслом. Ловушки расставлялись по квадратной сетке с расстоянием между ними 10 м и проверялись через каждые 2 часа в светлое время суток. Пойманных зверьков метили отрезанием крайних фаланг пальцев (Наумов, 1951).

Методы

Методика сбора материала по питанию сводилась к анализу содержимого желудков добытых животных. Для этого желудки зверьков фиксировали в 70 % спирте, разбор и определение их содержимого проводили под бинокулярным микроскопом МБС-3. Встречаемость пищевых компонентов оценивалась как доля желудков, содержащих данный корм, в процентах к общему числу наполненных желудков. Всего проанализировано содержимое желудков 140 средних бурозубок. Более детальное описание методик изучения территориального поведения и питания средней бурозубки приводится в одной из наших предыдущих монографий (Ивантер, Макаров, 2001).

Результаты

Территориальность. Участки обитания

К сожалению, подавляющее большинство работ по использованию территории бурозубками, выполненных с помощью мечения зверьков индивидуальными пожизненными метками или радиоактивными изотопами, посвящено обыкновенной бурозубке и подробно обсуждалось нами в специальных публикациях (Ивантер, 1975, 2018; Ивантер, Макаров, 2001). По средней же бурозубке известны лишь публикации, в которых рассматриваются данные по относительно небольшому количеству меченых в среднеазиатской тайге (Моралева, Шефтеля, 1982; Моралева, 1983, 1992), а также работа, выполненная на о-ве Хоккайдо (Ohdachi, 1992), из которых автору пришлось наблюдать за 10 индивидуально мечеными средними бурозубками, оседлым из них оказался только один зверек. Что же касается средней бурозубки в ивово-ольховых лесных и кустарниковых ассоциациях поймы Енисея, то из пяти наблюдавшихся видов бурозубок она продемонстрировала на площадке мечения самую низкую степень оседлости (повторно было поймано только около 10 % меченых зверь-

ков). Столь незначительная доля возвратов не позволила достаточно точно оценить особенности индивидуального использования территории особями данного вида.

Данные по мечению зверьков этого вида, относящиеся к европейской части его ареала, нам вообще неизвестны. Одна из главных причин – сложность сохранения в ловушках живых зверьков. В этих условиях особый интерес вызывает вышедшая в 2001 г. работа Н. А. Щипанова с соавторами (2001), основанная на разработанной авторами ранее (Щепанов и др., 2000) специальной методике, включающей подбор наиболее эффективной ловушки и обоснования режима ее работы, обеспечивающей минимальные потери зверьков.

Материал для исследования собирался авторами в Старицком районе Тверской области в 1995–1999 гг. В 1995 г. наблюдение проводилось на площадке (0.5 га; 110 ловушек по сетке 7.5 x 7.5 м), где и были получены детальные сведения о характере освоения участка обитания. Массовые же данные об использовании участков разными демографическими группами получены в 1995–1999 гг. на 5 линиях живоловок. Ловушки настораживались раз в сутки на 3 часа и проверялись 2 раза через 1.5 часа. Остальное время они оставались открытыми, но не настороженными, так что зверьки могли свободно перемещаться. Метили ампутацией пальцев. Для изучения использования участков зверьками в течение суток проводились круглосуточные наблюдения. Всего было помечено 863 средние бурозубки, которые дали 7169 повторных поимок.

В итоге для большинства наблюдаемых зверьков было установлено обитание на определенных участках. При этом 10 % от общего числа помеченных зверьков оседло держалось на наблюдаемой территории до 13 мес. (до и после перезимовывания). Согласно проведенным исследователями круглосуточным наблюдениям, суточная активность средней бурозубки носила полифазный характер, и практически вся территория выявляемого за две недели участка посещалась зверьком в течение суток. Это было отмечено для всех демографических групп, за исключением перезимовавших самцов. У неразмножающихся сеголеток средний размер участка обитания (оцениваемый авторами как усредненный радиус) составлял в среднем $44.1 \pm 1.3 \text{ м}^2$, у размножающихся сеголеток – 42.1 ± 4.3 , у перезимовавших самок – 55.6 ± 4.8 , у перезимовавших самцов – $115.6 \pm 11.8 \text{ м}^2$.

После того как самки и самцы включались в размножение, у них наблюдалось принципиальное различие в использовании территории. У сеголетков, вступивших в размножение, изменения структуры и размера участка не происходит. Самки после зимовки также чаще всего сохраняют структуру и расположение участка, принадлежащего им в предыдущий год. У оседлых перезимовавших самок размер участка несколько увеличивается (за счет включения прилегающих ловушек), перезимовавшие же самцы значительно расширяют используемую территорию, в которую включается и участок предыдущего года. Претерпевают резкие изменения и структура их участков. Если не размножавшиеся самцы-сеголетки имели обычно небольшие участки с выраженным центром, то после зимовки частота посещения тех или иных точек пространства определялась лишь наличием здесь в данный момент рецептивной самки. Так что для этой демографической группы зверьков правильнее, по-видимому, говорить не об обитании на некотором участке, а о перемещении по некоторому хорошо известному им пространству. При этом авторы отмечают общую тенденцию к уменьшению размеров участка при росте плотности, что зависит и от типа местообитания.

Перемещения же средней бурозубки включали выходы за пределы участка, изменения места его расположения и дальние перемещения. При этом один и тот же зверек мог совершать эпизодические выходы в разных направлениях, однако при этом возвращался обратно. Наибольшая обнаруженная дистанция для таких перемещений составила (по прямой) около 2.5 км.

В итоге авторы заключают, что для средней бурозубки в европейской части России характерно оседлое обитание, связанное с длительным нахождением на определенном индивидуальном участке. Касаясь его структуры, они отмечают, что у размножающихся самок-сеголеток и перезимовавших самок он имеет выраженный центр, наиболее часто посещаемый зверьками. У самцов этого вида после созревания происходит резкое расширение используемого пространства. При этом их перемещения по лесу определяются наличием там рецептивных самок. Соответственно, выраженного центра участка не наблюдается. Пространство, по которому перемещаются перезимовавшие самцы, настолько велико, что нет смысла анализировать его как участок оби-

тания в общепринятом смысле.

При наблюдении за сеголетками были выявлены дальние перемещения зверьков в поисках участков и оседание на них, а также временные дальние выходы за пределы постоянного участка обитания. Таким образом, зверьку знакома территория, значительно превышающая размеры его индивидуального участка.

Можно констатировать, что дальние перемещения сеголеток с большой вероятностью происходят в пределах определенной ограниченной территории, поэтому население на достаточно большом пространстве (не менее 1 км²) оказывается взаимосвязанным.

Сопоставляя представленные в статье Н. А. Щипанова с соавторами материалы по территориальной структуре рассматриваемого вида с соответствующими, но гораздо более скромными по масштабам данными, полученными нами по средней бурозубке на площадке мечения Приладожского териологического стационара «Карку», нельзя не заметить их сходства (Ивантер, Макаров, 2001 и др.). У молодых неполовозрелых зверьков средний размер участка обитания составил там 50.4 м² (с колебаниями от 30.5 до 95.2), у размножающихся сеголеток – 60.5 (38.0–80.5), у зимовавших самок – 59.1 (42.2–75.4), у зимовавших самцов – 111.0 (85.0–136.1) м². Значительное сходство обнаруживается в территориальности средней бурозубки и в сравнении с таковой обыкновенной. Это позволяет представить характерной для нее, подобно обыкновенной, известную в сельском хозяйстве «переложную» систему земледелия, позволяющую совместно сосуществовать половым и возрастным группам животных с различным территориальным поведением.

Экология питания

Питание средней бурозубки ранее подробно изучалось в Западной (Юдин, 1962) и Северо-Восточной Сибири (Докучаев, 1981, 1994; Вольперт, Аверенский, 1983; Вольперт, 1989; Шадрин и др., 1982), а также в Карелии (Ивантер и др., 1973; Ивантер, 1975; Макаров, 1990, 1991). Некоторые материалы по питанию этого вида приведены по Верхней Лене (Реймерс, Воронов, 1963), Сахалину (Реймерс и др., 1968), Аянскому побережью Охотского моря (Алина, Реймерс, 1975) и островам Японии (Abe, 1968). Рацион средней бурозубки интересен не только с практической точки зрения как рацион потребителя вредных насекомых, но

и с теоретической: этот вид в разных точках ареала может занимать разное положение в сообществе насекомых – от доминанты по численности до редкого вида. Соответственно, можно предположить, что роль его в биоценозе может сказываться на трофических отношениях.

Основной корм средней бурозубки в Карелии – насекомые (91 % встреч) и паукообразные (61 %), другие животные и растительные корма в летнем питании отмечаются редко (табл. 1). Насекомые поедаются

на всех стадиях развития, но чаще имаго и личинки, причем последние незначительно преобладают (65 % против 61 %). В разные годы соотношение между имаго и личинками несколько изменяется. Из насекомых в желудках бурозубок чаще встречаются жесткокрылые (56 %), чешуекрылые (32 %) и двукрылые (27 %). Чешуекрылые поедаются почти исключительно на личиночной стадии, жуки и двукрылые представлены и личинками, и имаго, но преобладают последние.

Таблица 1. Состав пищи средней бурозубки (встречаемость, % к общему числу желудков с идентифицированными объектами питания)

Вид корма	Годы						Итого
	1959– 1971	1984	1985	1986	1987	1988	
1	2	3	4	5	6	7	8
Насекомые (Insecta)	85.7	89.7	96.7	91.4	91.1	88.7	90.6
имаго	76.7	57.1	56.7	60.3	53.3	62.3	61.1
личинки	28.5	71.4	76.7	72.4	80	60.4	64.9
куколки	–	–	3.3	–	2.2	7.5	2.2
яйца	1.8	–	–	–	2.2	3.8	1.3
Жесткокрылые (Coleoptera)	71.4	42.9	50	55.2	55.6	60.4	55.9
имаго	71.4	28.6	43.3	32.8	35.6	49.1	43.5
личинки	10.7	28.6	23.3	32.8	28.9	20.8	24.2
Carabidae	16.1	14.3	10	15.5	15.6	19.1	15.1
имаго	16.1	14.3	10	12.1	13.3	7.5	12.2
личинки	3.6	–	–	3.4	2.2	7.5	2.8
Staphylionidae	–	–	13.3	6.9	20	20.3	10.1
имаго	–	–	13.3	5.2	15.6	26.4	10.1
личинки	–	–	–	1.7	4.4	1.9	1.3
Elateridae	7.1	14.3	10	17.2	22.2	15.1	14.3
имаго	5.3	–	–	1.7	2.2	–	1.5
личинки	1.8	14.3	10	15.5	20	15.1	12.8
Curculionidae (имаго)	7.1	–	10.0	8.6	4.4	3.8	5.7
Chrysomdidae (имаго)	3.6	–	–	–	–	–	0.6
Ipidae (имаго)	–	–	–	1.7	–	–	0.3
Catopidae (имаго)	–	–	–	1.7	–	–	0.3
Anisotomidae (имаго)	–	14.3	–	–	–	–	2.4
Silfidae (имаго)	–	–	–	1.7	–	–	0.3
Жесткокрылые, ближе не определенные	37.5	14.3	13.3	19	4.4	17	17.6
имаго	37.5	–	10	5.2	2.2	15.1	11.7
личинки	5.3	14.3	3.3	13.8	2.2	1.9	6.8
Двукрылые (Diptera)	8.9	14.3	46.7	27.6	37.8	24.5	26.6
имаго	5.3	14.3	13.3	10.3	4.4	15.1	10.5
личинки	3.6	–	36.7	17.2	35.6	11.3	17.4
Sciariidae (личинки)	–	–	30	–	2.2	–	5.4
Tipulidae (личинки)	–	–	–	10.3	–	1.9	2
Rhagionidae (личинки)	–	–	–	1.7	–	1.9	0.6
Mycetophilidae (личинки)	–	–	–	–	17.8	–	3
Culicidae (имаго)	3.6	–	–	–	–	–	0.6

Таблица 1. Продолжение

Вид корма	Годы						Итого
Phoridae (имаго)	–	–	–	1.7	–	–	0.3
Двукрылые, ближе не определенные	8.9	14.3	23.3	13.8	29	22.6	18.7
имаго	1.8	14.3	13.3	8.6	4.4	17	9.9
личинки	3.6		13.3	5.2	17.8	7.5	7.9
Перепончатокрылые (Hymenoptera)	5.3	14.3	20	19	8.9	1.9	11.6
имаго	5.3	14.3	13.3	10.3	6.7	1.9	9.9
личинки	–	14.3	6.7	8.6	2.2	–	7.9
Tenihredinidae (личинки)	–	14.3	6.7	8.6	2.2	–	5.3
Formicidae (имаго)	–	–	10	–	–		1.7
Перепончатокрылые, ближе не определенные (имаго)	5.3	14.3	10	10.3	6.7	1.9	8.1
Равнокрылые (Homoptera)	–	–	6.7	3.4	–	1.9	2
Cicadinea (имаго)	–	–	6.7	–	–	1.9	1.4
Aphidinea	–	–	3.3	3.4	–	–	1.1
Скорпионницы (Mesoptera) (личинки)	–	–	3.3	–	–	–	0.6
Тараканы (Blattoptera)	3.6	–	–	–	–	1.9	0.9
Клопы (Hemiptera)	–	–	16.7	20.7	4.4	30.2	12
Чешуекрылые (Lepidoptera)	5.3	57.1	40	24.1	28.9	37.8	32.2
имаго	–	–	3.3	1.7	2.2	–	1.2
личинки	5.3	57.1	36.7	22.4	26.7	37.8	31
Насекомые, ближе не определенные	11.6	14.3	16.7	13.8	22.2	22.7	16.9
имаго	3.6	–	–	5.2	11.1	9.4	4.9
личинки	7	14.3	13.3	8.6	8.9	5.7	9.6
куколки	–	–	3.3	–	2.2	7.5	2.2
яйца	1.8	–	–	–	2.2	3.8	1.3
Паукообразные (Arachnida)	8.9	71.4	70	74.1	60	79.2	60.6
Пауки (Araneus)	–	42.9	33.3	51.3	28.9	52.8	34.9
Клещи (Acarus)	–	–	10	10.3	4.4	3.8	4.8
Сенокосцы (Phalangium)	8.9	42.9	46.7	55.2	40	37.8	38.6
Многоножки (Myriapoda) Chilopoda	7.1	–	10	5.2	4.4	17	7.3
Моллюски (Mollusca)	7.1	–	–	–	–	1.9	1.5
Малощетинковые черви (Lumbricidae)	10.7	–	6.7	5.2	4.4	–	4.5
Млекопитающие (Mammalia)	7.1	–	–	1.7	2.2	–	1.8
Растительный материал	10.7	–	3.3	5.2		5.7	4.2
Число желудков с кормом	36	7	30	58	45	53	249
Число пустых желудков	–	2	1	10	5	2	20

Доля жесткокрылых в питании землероек высока и стабильна, лишь в 1984 г. по встречаемости в желудках они несколько уступали чешуекрылым. Примерно с равной частотой поедаются представители трех семейств: жужелицы, стафилины и щелкуны. Первые две группы представлены в основном имаго, ведущими напочвенный образ жизни, последняя – почвенными личинками (имаго из подстилки уходят). Наиболее стабильна встречаемость в питании жужелиц; стафилины, щелкуны и долгоносики в разные годы потребляются с различной частотой, частично компенсируя изменения кормового значения друг друга.

Самый крупный из отмеченных в питании жуков – жужелица *Pterostichus melanarius* (12–18 мм). Чаше других поедаются виды *Scilalhus micropterus* и *Otiorrhynchus nodosus* (табл. 2). Распределение видов в таблице питания примерно соответствует их обилию в природе (по учетам ловушками Бербера). Исключение составляют виды рода *Pterostichus*, наиболее многочисленные в исследованных биотопах. По размеру они

несколько крупнее остальных и поэтому, вероятно, являются менее доступной добычей для средних бурозубок. Мелкие жуки (2–4 мм) в питании встречаются редко (*Polydrosus ruficornis*, *Strophosomus capitatus*, *Epipapctus secalis*, *Liodes* sp. и др.).

Еще отчетливее избирательность питания по размерам пищевых объектов проявляется на жесткокрылых семейства стафилинов (они мало отличаются по плотности покровов, напочвенные формы ведут сходный образ жизни). Из шести обнаруженных в желудках видов только *Athetae* sp. меньше 7 мм, тогда как большинство многочисленных мелких видов, отмеченных в исследованных биотопах (Макаров, 1989б), в питании средних бурозубок не встречены.

Роль гусениц чешуекрылых в рационе вида сильно различается по годам. Встречаемость их даже в одной и той же местности изменялась более чем в два раза при минимуме в 1984 г., суммарный же размах колебаний данных по Карелии превысил десятикратный (см. табл. 1).

Таблица 2. Относительная роль в пищевом рационе средней бурозубки жесткокрылых, неоднократно отмеченных в питании

Вид жесткокрылых	Место по частоте встречаемости
<i>Calathus micropterus</i> (Carabidae)	1
<i>Calathus micropterus</i> (Carabidae)	1
<i>Otiorrhynchus nodosus</i> (Curculionidae)	2
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> + <i>P. rhaeticus</i> (Carabidae)*	3
<i>Leisius rufescens</i> (Carabidae)	4–5
<i>Quedius curtispennis</i> (Staphylinidae)	4–5
<i>Agortum fuliginosum</i> (Carabidae)	6
<i>Polydrosus ruficornis</i> (Curculionidae)	7

Примечание. * – виды по фрагментам неразделимы.

Значительные годовые изменения характерны для потребления двукрылых (от 9 до 47 %), в равной степени они касаются и имаго, и личинок. Даже в идентичных местообитаниях показатели потребления в последовательные годы могут изменяться в несколько раз. Изменяется при этом и видовой состав поедаемых личинок, и их встречаемость в желудках. Потребляются как мелкие личинки, образующие скопления (*Sciaridae*, *Mycetophylidae*), так и сравнительно крупные и немногочисленные (*Tipulidae*, *Rhagionidae*).

Клопы могут играть в питании средней бурозубки существенную роль, но потребление их крайне нестабильно (встречаемость

от 0 до 30 %).

Кормовое значение перепончатокрылых невелико, более или менее регулярно поедаются только личинки пилильщиков. Имаго представляют собой, скорее, случайную добычу. Прочие насекомые (цикады, тли, скорпионницы, тараканы) в рационе средней бурозубки представлены единичными особями и существенного кормового значения не имеют.

Паукообразные в питании вида представлены главным образом пауками (35 %) и сенокосцами (39 %) и относятся к основным кормовым объектам. Соотношение между этими двумя группами в разные годы существенно изменяется, но встречаемость их в

желудках стабильно высока, за исключением периода 1959–1971 гг. Прочие животные корма немногочисленны и отмечаются не каждый год. Таким образом, несмотря на сохранение общего характера питания вида, встречаемость отдельных групп кормов в разные годы может изменяться в 2–3 раза.

Дополнительную информацию о значении различных кормов в питании средней бурозубки дает анализ желудков, содержащих единственный вид корма (табл. 3). Здесь доминируют сенокосцы и личинки двукрылых. Что же касается имаго жесткокрылых, то существенной роли они не играют. Это позволяет оценивать их как добычу хотя и частую, но не массовую.

Географическая изменчивость питания средней бурозубки изучена сравнительно неплохо (табл. 4). Рацион средней бурозуб-

ки в Карелии сходен с отмеченными в других точках ареала. Существенные различия состоят в очень высоком потреблении паукообразных – 61 %, тогда как в других регионах отмечалось от 1.7 (Юдин, 1962) до 37.5 % (Вольперт, Аверенский, 1983), а также в повышенной доле полужесткокрылых – в среднем 12 %, в других точках ареала (в локальном местообитании) – до 7.6 % (Юдин, 1962).

Как показывают данные табл. 5, питание средней бурозубки в разных биотопах существенно различается. Соотношение имаго – личинки также непостоянно: в сосняке и особенно на вырубке личинки преобладают, а в двух других биотопах доли примерно равные, хотя определяется это потреблением разных групп беспозвоночных.

Таблица 3. Встречаемость кормов в качестве единственного содержимого желудков средней бурозубки

Вид корма	Число желудков, содержащих данный корм	
	абс.	% от общего числа
Сенокосцы	7	31.8
Личинки двукрылых	4	18
чешуекрылых	2	9
щелкунов	2	9
Имаго перепончатокрылых	2	9
жесткокрылых	2	9
Остатки млекопитающих	2	9
Дождевые черви	1	4.5
Пауки	1	4.5

Рацион средней бурозубки в сосняке черничном отличается частым потреблением личинок щелкунов и разнообразием поедаемых личинок двукрылых. Только здесь в питании зверьков отмечены личинки пилильщиков. Сходно высокая встречаемость гусениц чешуекрылых отмечена и на зарастающей вырубке, но видовой состав совершенно различный. Рацион в сосняке максимально разнообразен. Пищевой спектр в лиственном лесу отличается гораздо большей встречаемостью жужелиц (и имаго, и личинок), отсутствием мелких личинок двукрылых. Максимальных показателей достигает здесь потребление пауков. В целом в этом биотопе средними бурозубками уничтожается наибольшее количество хищных беспозвоночных. На вырубке, напротив, в питании землероек основную роль играют фитофаги и детритофаги. Потребление паукообразных наименьшее.

Рацион бурозубок в ельнике кисличном

отличается малым количеством жесткокрылых и гусениц чешуекрылых, но наибольшим потреблением сенокосцев.

Возрастные различия в питании невелики. Столь резких качественных различий в рационах сеголеток и зимовавших особей, какие отмечены по наблюдениям в неволе М. В. Охотиной (1974), нами не обнаружено. Однако количественные различия весьма существенны (табл. 6).

Зимовавшие зверьки значительно чаще потребляют личинок, причем это характерно для всех основных групп насекомых. Расхождение существует и по встречаемости в желудках почвенных организмов, которые устойчиво преобладают в рационе зимовавших особей. Это свидетельствует о частичном разделении пищевых ресурсов между зверьками разного возраста, связанном с различными горизонтами обитания: зимовавшие особи ведут более «почвенный» образ жизни и меньше поедают активных

Таблица 4. Географические различия в питании средней бурозубки

Виды кормов	Западная Сибирь (Юдин, 1962)	Якутия (Вольперт, Аверенский, 1983)	Северо- Восточная Сибирь (Докучаев, 1981)	Карелия (наши данные)
Насекомые	77.7	100	90.7	90.6
Жесткокрылые	48.4	55.4	36.7	55.9
имаго	*	17.9	16.7	43.5
личинки	*	41	24.4	24.2
Двукрылые	5.7	41.1	32.6	26.6
имаго	*	17.8	27.7	10.5
личинки	*	21.4	6.3	17.4
Чешуекрылые	1.1	25	11.8	32.2
Перепончатокрылые	2.6	7.1	11	11.6
Клопы	1.5	1.8	1.4	12
Паукообразные	1.7	37.5	2.5	60.6
Многоножки	4.6	3.6	42.2	7.3
Моллюски	–	–	0.3	1.5
Дождевые черви	4.4	10.7	5.6	4.5
Остатки млекопитающих	–	–	2.2	1.8
Остатки растений	–	5.4	37.8	4.2
Семена	–	5.4	37.5	0.6
Исследовано желудков	543	56	365	259

Примечание. * – показатель не вычислялся.

Таблица 5. Биотопические различия в питании средней бурозубки (встречаемость, % к общему числу желудков с идентифицированными объектами питания)

Вид корма	Биотоп			
	сосняк черничный	лиственный лес	застающая вырубка	ельник кисличный
Насекомые (Insecta)	89.8	95.8	94.7	92.3
имаго	55.5	75	57.9	61.5
личинки	69.3	79.2	84.2	61.5
куколки	4.4	–	–	–
яйца	0.7	8.3	–	–
Жесткокрылые (Coleoptera)	56.2	62.5	57.9	30.8
имаго	39.4	41.7	47.4	23.1
личинки	27.7	41.7	15.8	7.7
Carabidae	9.5	45.8	10.5	15.4
имаго	7.3	33.3	10.5	7.7
личинки	1.5	16.7	–	7.7
Staphylionidae	16.8	16.7	15.8	15.4
имаго	13.8	8.3	15.8	15.4
личинки	1.5	8.3	–	–
Elateridae	19.7	8.3	15.8	–
имаго	1.5	–	–	–
личинки	18.2	8.3	15.8	–

Таблица 5. Продолжение

Вид корма	Биотоп			
	сосняк черничный	лиственный лес	зарастающая вырубка	ельник кисличный
Curculionidae (имаго)	7.3	4.2	5.3	–
Ipidae (имаго)	–	–	–	7.7
Catopidae (имаго)	–	–	–	1.7
Anisotomidae (имаго)	0.7	–	–	–
Silfidae (имаго)	0.7	–	–	–
Жесткокрылые, ближе не определенные	14.6	16.7	15.8	–
имаго	8	8.3	10.5	–
личинки	6.6	8.3	5.3	–
Двукрылые (Diptera)	27.7	33.3	57.9	38.5
имаго	9.5	16.7	21.1	–
личинки	18.2	20.8	42.1	38.5
Sclaridae (личинки)	6.6	–	–	7.7
Tipulidae (личинки)	3.6	8.3	–	–
Rhagionidae (личинки)	0.7	4.2	–	–
Mycetophilidae (личинки)	2.2		10.5	23.1
Двукрылые, ближе не определенные	16.1	25	42.1	7.7
имаго	10.2	16.7	15.8	–
личинки	6.6	12.5	31.6	7.7
Перепончатокрылые (Hymenoptera)	13.1	8.3	10.5	7.7
имаго	7.3	8.3	10.5	7.7
личинки	6.6	–	–	–
Tenihredinidae (личинки)	6.6		–	–
Formicidae (имаго)	2.2		–	–
Перепончатокрылые, ближе не определенные	6.6	8.3	10.5	7.7
Равнокрылые (Homoptera)	0.7	4.2	10.5	7.7
Cicadinea (имаго)	0.7	4.2	5.3	–
Aphidinea	–	–	5.3	7.7
Скорпионницы (Mecoptera) (личинки)		5.3		
Тараканы (Blattoptera)	0.7	–	–	–
Клопы (Hemiptera)	20.4	12.5	5.3	23.1
Чешуекрылые (Lepidoptera)	–	–	–	–
имаго	35	25	36.8	15.4
личинки	1.5	4.2		
личинки	33.6	20.8	36.8	15.4
Насекомые ближе не определенные	16.8	37.5	5.3	23.1
имаго	6.6	12.5	–	7.7
личинки	6.6	20.8	5.3	15.4

Таблица 5. Продолжение

Вид корма	Биотоп			
	сосняк черничный	лиственный лес	застающая вырубка	ельник кисличный
куколки	4.4	–	–	
яйца	0.7	8.3	–	–
Паукообразные (Arachnida)	70.1	91.7	52.6	76.9
Пауки (Araneus)	40.1	70.8	36.8	38.5
Клещи (Acarus)	6.6	8.3	5.3	7.7
Сенокосцы (Phalangium)	43.1	54.2	26.3	76.9
Многоножки (Myriapoda) Chilopoda 9.5	–	15.8	7.7	
Моллюски (Mollusca)	0.7	–	–	–
Малощетинковые черви (Lumbricidae)	3.6	8.3	–	–
Млекопитающие (Mammalia)	1.5	–	–	–
Растительный материал	4.4	–	–	–
Число желудков с кормом	137	24	19	13
Число пустых желудков	13	4	–	3

наземных беспозвоночных. Различия в потреблении сенокосцев определяются и биологией жертв: к осени их становится больше и они увеличиваются в размерах, соответственно, и чаще поедаются многочисленными в это время сеголетками.

Таблица 6. Возрастные различия в питании средней бурозубки (встречаемость основных групп кормов, %)

Вид корма	Зимовавшие особи	Сеголетки
Насекомые	95.8	85.6
имаго	58.3	54.5
личинки	87.5	56.9
Жесткокрылые	70.8	53.9
имаго	37.5	40.1
личинки	50	24
в т. ч. личинки щелкунов	37.5	13.8
Двукрылые	37.5	29.9
имаго	12.5	10.8
личинки	29.2	21
Перепончатокрылые	12.5	12
имаго	4.2	8.4
личинки	8.3	4.2
Равнокрылые	4.2	2.4
Чешуекрылые (личинки)	29.2	25.7
Клопы	4.2	13.8
Паукообразные	70.8	71.9
Пауки	58.3	41.3
Клещи	16.7	5.4
Сенокосцы	33.3	52.7
Многоножки	16.7	8.4
Дождевые черви	16.7	2.4
Число желудков с кормом	24	167
Число пустых желудков	5	13

Заключение

В заключение хотелось бы остановиться на выявленных в процессе исследований территориальности и питания наиболее важных территориальных аспектах воздействия бурозубок, в т. ч. и средних, на популяции их жертв. Роль насекомоядных млекопитающих в снижении численности потребляемых ими в пищу беспозвоночных рассматривалась многократно. Однако в большинстве случаев вывод о контроле численности насекомых со стороны землероек был сделан лишь на основе анализа пищевых ресурсов зверьков и преимущественно доминирующих обыкновенных бурозубок.

Для изучения воздействия средних бурозубок на популяции их жертв в условиях Карелии нами оценивалось изъятие землеройками биомассы беспозвоночных в пределах площади животноводства на териологическом стационаре Приладожский (Карку). Согласно полученным данным (Ивантер, Макаров, 2001), при максимально высокой для Карелии (за период исследований) численности

бурозубок месячное изъятие ими биомассы в большинстве случаев составляло около 10 кг/га. В отдельные годы оно достигало от 13 до 22 кг/га, соответственно, доля изъятия в некоторые месяцы превышала 50 %. При этом выдерживать столь жесткий пресс потребителей беспозвоночные могут благодаря высокой скорости размножения, быстрому приросту биомассы и сезонной смене видового состава.

Таким образом, в летне-осенний период при сбалансированном соотношении хищника и жертвы бурозубки всех видов играют роль фактора, стабилизирующего численность потребляемых ими беспозвоночных. При повышении численности последних в конце лета и осенью величина изъятия максимальна, при низкой же численности в начале лета – минимальна. Впрочем, сказанное относится только к летне-осеннему периоду, тогда как зимой, при напряженном для землероек состоянии кормовой базы, не исключено более интенсивное выедание жертв.

Библиография

- Алина А. В., Реймерс Н. Ф. Наземные млекопитающие (Mammalia) Финского побережья // Систематика, фауна, зоогеография млекопитающих и их паразитов. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1975. С. 127–140.
- Вольперт Я. Л., Аверенский А. И. Характеристика питания землероек-бурозубок рода *Sorex* (Insectivora, Mammalia) в Северном Предверхоянье // Териологические исследования в Якутии. Якутск, 1983. С. 57–73.
- Докучаев Н. Е. Питание землероек-бурозубок (Soricidae) и оценка их роли в горно-таежных экосистемах Северо-Восточной Сибири // Экология млекопитающих Северо-Восточной Сибири. М.: Наука, 1981. С. 3–22.
- Докучаев Н. Е. Экология бурозубок Северо-Восточной Азии. М.: Наука, 1990. 160 с.
- Ивантер Э. В., Макаров А. М. Территориальная экология землероек-бурозубок (Insectivora, *Sorex*). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 272 с.
- Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
- Ивантер Э. В., Ивантер Т. В., Лобкова М. П. О питании землероек-бурозубок (*Sorex* L.) Карелии // Труды государственного заповедника «Кивач». Вып. 2. Петрозаводск, 1973. С. 154–169.
- Ивантер Э. В., Макаров А. М. К изучению территориальной структуры популяций мелких насекомоядных млекопитающих // Биология, экология, биотехнология и почвоведение М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 106–123.
- Ивантер Э. В., Макаров А. М. Пространственная организация популяций землероек-бурозубок (*Sorex*, Insectivora) // Зоологический журнал. 1994. Т. 73. Вып. 9. С. 124–138.
- Ивантер Э. В. Территориальная экология землероек-бурозубок. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 272 с.
- Макаров А. М. О питании средней бурозубки (*Sorex caecutiens*) в бесснежный период // Экология наземных позвоночных. Петрозаводск, 1991. С. 76–86.
- Макаров А. М. Питание и особенности территориального поведения землероек (Soricidae) Карелии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1993. 24 с.
- Моралева Н. В. К проблеме межвидовых отношений близких видов землероек-бурозубок (Insectivora, *Sorex*) // Фауна и экология птиц и млекопитающих Средней Сибири. М.: Наука, 1987. С. 213–228.
- Моралева Н. В. Некоторые особенности пространственной структуры популяции обыкновенной бурозубки в годы большой численности // Вид и его продуктивность в ареале: Материалы V Всесоюзного совещания. Вильнюс, 1988. С. 48–49.

- Моралева Н. В. Отношение к территории землероек-бурозубок Енисейской тайги (по данным индивидуального мечения) // Животный мир Енисейской тайги и лесотундры и природная зональность. М., 1983. С. 215–230.
- Моралева Н. В. Пространственно-этологическая структура популяции обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1992. 26 с.
- Моралева Н. В., Шефтель Б. И. Некоторые особенности пространственной структуры популяции землероек-бурозубок среднеенисейской тайги // Некоторые аспекты изучения флоры и фауны СССР: Доклады Моск. об-ва испыт. природы. Зоология и ботаника. М., 1980. С. 9–13.
- Моралева Р. В., Шефтель Б. И. Территориальное поведение обыкновенной бурозубки в период полового созревания // Всесоюзное совещание по биологии насекомоядных млекопитающих. М., 1992. С. 120–121.
- Наумов Н. П. Новый метод изучения экологии мелких лесных грызунов // Фауна и экология грызунов. М., 1951. Вып. 4. С. 3–21.
- Охотина М. В. Морфологические особенности различных видов бурозубок (*Sorex*, *Insectivora*), обуславливающие возможность их совместного существования // Фауна и экология наземных позвоночных на юге Дальнего Востока СССР: Труды биолого-почвенного института. Владивосток, 1974. Т. 17. С. 42–57.
- Реймерс Н. Ф., Воронов Г. А. Насекомоядные и грызуны Верхней Лены. Иркутск, 1963. 190 с.
- Реймерс Н. Ф., Воронов Г. А., Загородских Е. Е., Алина А. В. Насекомоядные и грызуны Сахалина и Курильских островов // Труды Пермского государственного педагогического института. 1968. Т. 61. С. 35–99.
- Шадрин Е. Г., Аверенский Л. И., Сосин А. А. Летнее питание средней и тундряной бурозубок в долине реки Индигирки // I Всесоюзное совещание по биологии насекомоядных млекопитающих. М., 1994. С. 166–167.
- Щипанов Н. А., Куприянова И. Ф. К методике изучения пространственной дифференциации населения бурозубок // Фауна и экология наземных позвоночных животных. М.: Наука, 1981. С. 73–80.
- Щипанов Н. А., Калинин А. А., Олейниченко В. Ю. и др. К методике изучения использования пространства землеройками-бурозубками // Зоологический журнал. 2000. Т. 79. Вып. 3. С. 362–371.
- Щипанов Н. А., Калинин А. А., Олейниченко В. Ю. Использование пространства средней бурозубкой, *Sorex caecutiens* (*Insectivora*, *Mammalia*). Характеристика участков и дальних перемещений // Зоологический журнал. 2001. Т. 80, № 5. С. 576–585.
- Юдин Б. С. Материалы по питанию бурозубок (*Sorex*) Западной Сибири // Труды Томского государственного университета. 1956. Т. 142. С. 295–302.
- Abe H. Classification and bioogy of Japanese *Insectivora* (*Mammalia*) / Biological aspects // J. Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ. 1968. Vol. 57, No 2. P. 229–354.
- Ivanter E. V. The territorial and demographic structure of the common shrew population // Advances in the Biology of Shrews. Special Publication of Carnegie Museum of Natural History. Pittsburgh, 1994. No 18. P. 89–95.

TO THE POPULATION ECOLOGY OF THE MASKED MOUSE (*SOREX CAECUTIENS* LAXM.) IN THE EUROPEAN PART OF ITS AREA. COMMUNICATION II. TERRITORIALISM, HABITAT AREAS. FEEDING ECOLOGY.

IVANTER
Ernest Victorovich

DSc, Petrozavodsk state university, ivanter@petrsu.ru

Keywords:
territorialism
individual plots
migration
food ration
polyphagy
entomophage
feeding frequency
main and secondary
feeds
diet density
fortified diet

Summary: As the marking showed, the considered species of all shrews has the lowest degree of sedentariness (the proportion of returns did not exceed 10%), nevertheless, for the majority of the observed animals, habitation in certain areas was established. According to our data, young (non-breeding) animals live within 30.5–95.2 sq. m, breeding young-of-the-year – within 38.0–80.5 sq. m, overwintered females – within 42.2–75.4 sq.m, and overwintered males – within 85.0–136.0 sq. m. At the same time, after females and males are included in breeding, the size of their plots changes: in sedentary overwintered females, the size of the plot does not increase much, while overwintered males significantly expand the used territory, including the plot of the previous year. By the nature of feeding, the mask shrew living in the European part of its range is a typical entomophage. Insects serve as its main food (91 % of encounters), arachnids are noticeably inferior to them in this regard, while other animals and plant-based feed are rarely noted in the summer diet. Overwintered animals consume larvae much more often, and this is typical for all major groups of insects. There is also a discrepancy in the occurrence of stomachs of soil organisms that persistently predominate in the diet of wintering individuals.

Published on: 06 October 2022

References

- Abe H. Classification and bioogy of Japanese Insectivora (Mammalia), Biological aspects, J. Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ. 1968. Vol. 57, No 2. P. 229–354.
- Alina A. V. Reymers N. F. Terrestrial mammals (Mammalia) of the Finnish coast, Sistematika, fauna, zoogeografiya mlekopitayuschih i ih parazitov. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1975. P. 127–140.
- Dokuchaev N. E. Ecology of the shrews of Northeast Asia. M.: Nauka, 1990. 160 p.
- Dokuchaev N. E. Feeding of shrews (Soricidae) and assessment of their role in the mountain taiga ecosystems of North-Eastern Siberia, Ekologiya mlekopitayuschih Severo-Vostochnory Sibiri. M.: Nauka, 1981. P. 3–22.
- Ivanter E. V. Ivanter T. V. Lobkova M. P. *Sorex* L. About the feeding of shrews (*Sorex* L.) of Karelia, Trudy gosudarstvennogo zapovednika «Kivach». Vyp. 2. Petrozavodsk, 1973. P. 154–169.
- Ivanter E. V. Makarov A. M. Spatial organization of shrew (*Sorex*, Insectivora) populations, Zoologicheskii zhurnal. 1994. T. 73. Vyp. 9. P. 124–138.
- Ivanter E. V. Makarov A. M. Territorial ecology of shrews (Insectivora, *Sorex*). Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2001. 272 p.
- Ivanter E. V. Makarov A. M. To the study of the territorial structure of populations of small insectivorous mammals, Biologiya, ekologiya, biotekhnologiya i pochvovedenie M.: Izd-vo MGU, 1994. P. 106–123.
- Ivanter E. V. Population ecology of small mammals in the taiga North-West of the USSR. L.: Nauka, 1975. 246 p.
- Ivanter E. V. Territorial ecology of shrews. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2001. 272 p.
- Ivanter E. V. The territorial and demographic structure of the common shrew population, Advances in the Biology of Shrews. Special Publication of Carnegie Museum of Natural History. Pittsburgh, 1994. No 18. P. 89–95.
- Makarov A. M. About the feeding of the common shrew (*Sorex caecutiens*) during the snowless period, Ekologiya nazemnyh pozvonochnyh. Petrozavodsk, 1991. P. 76–86.
- Makarov A. M. Feeding and the peculiarities of territorial behavior of shrews (Soricidae) in Karelia: Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 1993. 24 p.

- Moraleva N. V. Sheftel' B. I. Some features of the spatial structure of the shrew population of the Middle Yenisei taiga, Nekotorye aspekty izucheniya flory i fauny SSSR: Doklady Mosk. ob-va ispyt. prirody. Zoologiya i botanika. M., 1980. P. 9–13.
- Moraleva N. V. On the problem of interspecific relationships of related species of shrews (Insectivora, Sorex), Fauna i ekologiya ptic i mlekopitayuschih Sredney Sibiri. M.: Nauka, 1987. P. 213–228.
- Moraleva N. V. Relation to the territory of shrews-shrews of the Yenisei taiga (according to individual marking data), Zhivotnyy mir Eniseyskoy taygi i lesotundry i prirodnaya zonal'nost'. M., 1983. P. 215–230.
- Moraleva N. V. Some features of the spatial structure of the common shrew population in years of large numbers, Vid i ego produktivnost' v areale: Materialy V Vsesoyuznogo soveschaniya. Vil'nyus, 1988. P. 48–49.
- Moraleva N. V. Spatial and ethological structure of the population of the common shrew (*Sorex araneus* L.): Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. M., 1992. 26 p.
- Moraleva R. V. Sheftel' B. I. Territorial behavior of the common shrew during puberty, Vsesoyuznoe soveschanie po biologii nasekomoyadnyh mlekopitayuschih. M., 1992. P. 120–121.
- N. A. Kupriyanova I. F. To the methodology of studying the spatial differentiation of the population of shrews, Fauna i ekologiya nazemnyh pozvonochnyh zhivotnyh. M.: Nauka, 1981. P. 73–80.
- Naumov N. P. A new method for studying the ecology of small forest rodent, Fauna i ekologiya gryzunov. M., 1951. Vyp. 4. P. 3–21.
- Ohotina M. V. Morphological features of different species of shrews (*Sorex*, Insectivora), which determine the possibility of their coexistence, Fauna i ekologiya nazemnyh pozvonochnyh na yuge Dal'nego Vostoka SSSR: Trudy biologo-pochvennogo instituta. Vladivostok, 1974. T. 17. P. 42–57.
- Reymers N. F. Voronov G. A. Zagorodskih E. E. Alina A. V. Insectivores and rodents of Sakhalin and the Kuril Islands, Trudy Permskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta. 1968. T. 61. P. 35–99.
- Reymers N. F. Voronov G. A. Insectivores and rodents of the Upper Lena. Irkutsk, 1963. 190 p.
- Schipanov N. A. Kalinin A. A. Oleynichenko V. Yu. To the method of studying the use of space by shrews, Zoologicheskii zhurnal. 2000. T. 79. Vyp. 3. P. 362–371.
- Schipanov N. A. Kalinin A. A. Oleynichenko V. Yu. Use of space by the common shrew, *Sorex caecutiencie* (Insectivora, Mammalia). Characteristics of areas and long-distance movements, Zoologicheskii zhurnal. 2001. T. 80, No. 5. P. 576–585.
- Shadrina E. G. Averenskiy L. I. Sosin A. A. Summer feeding of the common and tundra shrew in the Indigirka river valley, I Vsesoyuznoe soveschanie po biologii nasekomoyadnyh mlekopitayuschih. M., 1994. C. 166–167.
- Vol'pert Ya. L. Averenskiy A. I. Characteristics of feeding of shrews of the genus *Sorex* (Insectivora, Mammalia) in the Northern Cis-Verkhoyansk, Teriologicheskie issledovaniya v Yakutii. Yakutsk, 1983. P. 57–73.
- Yudin B. S. Materials on the nutrition of shrews (*Sorex*) of Western Siberia, Trudy Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 1956. T. 142. P. 295–302.



УДК 504.05, 504.06

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В УГЛИЧСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ С ПОВЕРХНОСТНЫМ СТОКОМ С ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ

ЛАЗАРЕВА
Галина Александровна

к. б. н., Государственный университет «Дубна»,
lazarevg@mail.ru

ШАХОВА
Наталья Александровна

ФГБУ «Центррегионводхоз» Дубнинская экоаналитическая
лаборатория, lazarevg@mail.ru

АНИСИМОВА
Ольга Витальевна

к. г.-м. н., Государственный университет «Дубна»,
ol_anisimova@mail.ru

Ключевые слова:
диффузное загрязнение
гидрохимические
показатели
объем поступления
загрязняющих веществ
поверхностный сток
Угличское
водохранилище

Аннотация: С целью изучения поступления загрязняющих веществ в водные объекты с поверхностным стоком и поиска математических методов его расчета был предложен алгоритм исследования, согласно которому на первом этапе производится расчет объемов поверхностного стока и массы удельного выноса загрязняющих веществ с прибрежной территории (шириной 200 м), расположенной в районе изучаемого створа (с учетом характера подстилающей поверхности, климатических характеристик и др.); на втором этапе проводится химический анализ вод по приоритетным гидрохимическим показателям; на третьем – анализируются и сравниваются расчетные (с учетом разбавления реки) и фактические данные по приоритетным показателям. Алгоритм был применен при исследовании верхних створов Угличского водохранилища в районе г. Дубна и г. Кимры (д. Абрамово). В оценке вклада поверхностного стока с селитебных территорий использовались только приоритетные показатели: взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК. Данные химического анализа вод водохранилища были усреднены за 4 года наблюдения. Результаты, полученные расчетным методом, сравнены с фактическими данными лабораторного химического анализа вод. Произведена оценка массы годового поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежной территории. Показано, что сток с исследованных прибрежных территорий не единственный источник загрязнения в районе изученных створов. Учитывая характер застройки (преобладание индивидуальной жилой застройки без централизованной системы канализации, с выгребными ямами и септиками), существенный вклад в загрязнение вод может быть обусловлен неорганизованным стоком хозяйственно-бытовых вод, а также привнесением загрязняющих веществ притоками – водоотводными канавами, р. Кимрка и др.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 09 июня 2022 года

Подписана к печати: 02 октября 2022 года

Введение

Для сохранения качества поверхностных вод, предотвращения дефицита чистой воды представляется важным проводить оценку объемов поступления загрязняющих веществ от неорганизованных, рассредоточенных, площадных (диффузных) источников, расположенных в непосредственной близости от водных объектов, в их прибрежной зоне. Такая оценка может способствовать более точному выбору водоохраных мероприятий, проводимых с целью минимизации загрязнения и ликвидации отрицательного антропогенного воздействия на водные объекты.

Диффузное загрязнение, формирующееся на водосборной территории, особенно значительно в сельскохозяйственных районах (его компонентами чаще всего являются вымываемые с полей удобрения, ядохимикаты и другие продукты эрозии), а величина загрязнения во многом зависит от величины стока с водосбора, особенно поверхностного со склонов (Коронкевич, Долгов, 2017). Одним из мощных источников диффузного загрязнения водных объектов стала массовая застройка берегов в непосредственной близости от уреза воды, особенно в пределах водоохраных зон и прибрежных защитных полос (Ясинский и др., 2019). Характерная для урбанизированных территорий повышенная антропогенная нагрузка приводит к увеличению в поверхностном стоке концентраций веществ как природного, так и техногенного происхождения. Качественный и количественный состав вод с таких территорий зависит от многих параметров. К таковым можно отнести: загрязненность атмосферы, наличие строительных площадок и промышленных предприятий, интенсивность транспортного движения, санитарное состояние водосборных площадей, степень благоустройства территории, плотность населения, вид поверхностного покрова, метеорологические параметры (интенсивность и продолжительность дождей, продолжительность сухой погоды предшествующего периода, интенсивность весеннего снеготаяния).

Попадающие в водоемы и водотоки дождевые и талые воды с урбанизированных территорий могут представлять значительную опасность загрязнения водных объектов различными примесями природного и техногенного происхождения. Основными загрязняющими веществами, выносимыми с поверхностным стоком с селитебных тер-

риторий, являются: бытовой мусор (листья, ветки, бумажные и пластмассовые упаковки, пробки, тряпье и пр.), продукты эрозии почвы, биогенные вещества (соединения азота, фосфора, углерода), пыль, вымываемые компоненты дорожных покрытий и строительных материалов, нефтепродукты (проливы автомасел и топлива), соли (в основном хлориды, применяемые в зимний период для борьбы с гололедом), микробиологическое загрязнение (Лазарева и др., 2020). В качестве приоритетных показателей можно выделить содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов и значение ХПК (мера содержания органического вещества).

При моделировании стока загрязняющих веществ с водосбора необходимо использовать пространственно распределенные параметры территории, для этих целей используются ГИС как инструмент выделения в изучаемых гидрологических системах частных водосборов и однотипных в природном и хозяйственном отношении участков (Яковченко, Михайлов, 2000).

Цель работы – оценка объемов годового поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежных территорий в районе двух створов Угличского водохранилища, расположенных у г. Дубна и г. Кимры, с применением расчетного метода.

Материалы

Оценка объемов поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежных территорий проводилась для двух верхних створов Угличского водохранилища, расположенных в районе г. Дубна (створ 1) и г. Кимры (створ 2) (рис. 1).

Угличское водохранилище расположено в пределах Московской, Тверской и Ярославской областей. Это водохранилище руслового (речного) типа. На берегах водоема расположены города Дубна, Кимры, Калязин, Углич, пгт Белый Городок, ряд деревень и поселков. Площадь водохранилища составляет 24.9 тыс. га, длина – 143 км, средняя ширина – 2.2 км, максимальная – 5 км, средняя глубина – 5.0 м. Мелководья с глубинами менее 5 м занимают около 36 % общей площади.

Со стоком Волги в Угличское водохранилище поступает около 71 % от общего поступления воды, на долю боковых притоков приходится около 29 % от общего поверхностного притока воды (Григорьева, 2020).

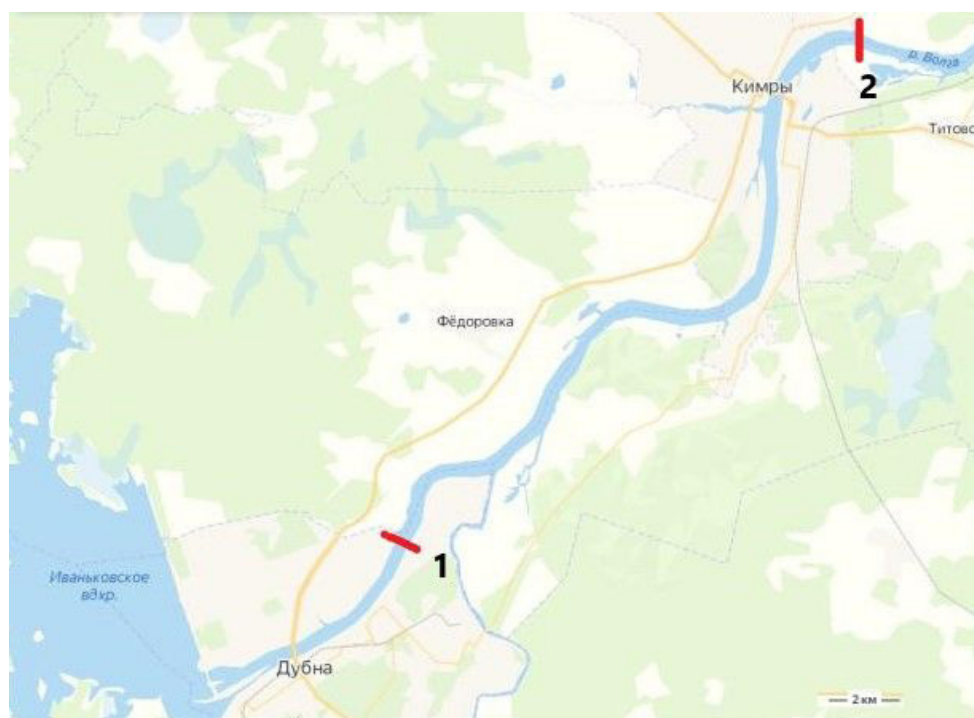


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб: створ 1 – г. Дубна, Северная канава; створ 2 – д. Абрамово, ниже г. Кимры

Fig. 1. Scematic map of sampling stations: station 1 – Dubna, Severnaya Kanava; station 2 – Abramovo village, below Kimry

Среднегодовое число осадков по району исследования составляет 550–750 мм. Максимальные значения количества осадков приходятся на июнь – июль (до 80–90 мм). Снежный покров устанавливается в самом конце ноября и держится до середины марта, достигая мощности 40–60 см (СП 131.13330.2018).

Площадь территории г. Дубна и г. Кимры составляет 7044 и 4400 га, численность населения на 2021 г.: 74499 и 42301 человек соответственно (Численность..., 2021).

Методы

Для реализации поставленной цели был разработан и применен алгоритм, предполагающий три этапа.

На первом этапе производился расчет объемов поверхностного стока и массы удельного выноса загрязняющих веществ с прибрежной территории, расположенной в районе изучаемого створа, учитывая характер подстилающей поверхности, климатические и гидрологические характеристики в районе исследуемых створов.

На первом этапе проводился:

- Анализ космических снимков исследуемой территории и определение площадей объектов в пределах полосы

шириной 200 м от береговой линии (соответствует водоохранной зоне водохранилища) и длиной около 1 км (выше по течению от исследуемых створов).

- Расчет среднегодового стока ($\text{м}^3/\text{год}$) дождевых и талых вод согласно положениям «Методических указаний по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод» (Методические указания..., 2014), а также «Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (Методика..., 2020). Учитывались такие параметры, как среднегодовое количество осадков в виде дождя, запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния, коэффициент, характеризующий поверхность водосбора, коэффициент стока для снежного покрова.

- Расчет разбавления поверхностного стока с прилегающей территории массой вод водного объекта с применением коэффициента общего разбавления вод по методу В. А. Фролова – И. Д. Родзиллера и начального разбавления по методу Н. Н. Лапшева (Методика..., 2020).

На втором этапе – химический анализ вод водохранилища по приоритетным показателям (взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК).

На третьем этапе:

- Сравнение фактических данных содержания приоритетных показателей в пробах воды исследуемых створов и расчетных значений, полученных для данных створов с учетом разбавления реки.
- Оценка массы годового поступления веществ с поверхностным стоком.

Химический анализ проб воды в изучаемых створах водохранилища проводился на базе ФГБУ «Центррегионводхоз» Дубнинской экоаналитической лаборатории (ДЭАЛ) по 22 показателям (Шахова и др., 2019; Лазарева, 2016а). В оценке вклада поверхностного стока с селитебных территорий использовались только приоритетные показатели: взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК.

Для расчета объема среднегодового поверхностного стока и определения объема загрязняющих веществ, поступающих в водоем с прилегающей территории, необходимо было определить площади участков, занятых различными объектами – одноэтажной жилой застройкой, зелеными насаждениями (растительность), дорогами и т. д. Для этого было проведено дешифрирование космических снимков исследуемой территории и определение площадей объектов при помощи программы MapInfo (Лазарева и др., 2020).

Расчет объема среднегодового поверхностного стока в районе изучаемых створов производился для прибрежной территории, ширина которой соответствовала ширине водоохранной зоны водохранилища (200 м от береговой линии), длина составляла около 1 км (выше по течению от исследуемых створов).

Вынос загрязняющих веществ притоками не учитывался (на исследуемых участках к таким водотокам относятся Северная и Южная водоотводные каналы – в районе створа г. Дубна (Лазарева, Панина, 2016б), р. Кимрка – в районе створа в г. Кимры (д. Абрамово)).

При выполнении расчетов объема среднегодового поверхностного стока руководствовались положениями «Методических указаний по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод» (Методические указания..., 2014), а также «Методикой разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (Методика разработки..., 2020). Показатели, характеризующие примерный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей территорий, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Примерный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей (Методические указания..., 2014)

Площадь стока	Показатели загрязнения, мг/дм ³					
	дождевой сток			талый сток		
	взвеш. вещества	ХПК	нефтепродукты	взвеш. вещества	ХПК	нефтепродукты
Участки селитебной территории с высоким уровнем благоустройства и регулярной механизированной уборкой <u>дорожных покрытий</u>	400	300	8	2000	700	20
Современная <u>жилая застройка</u>	650	480	12	2500	1000	20
Магистральные улицы с интенсивным движением <u>транспорта</u>	1000	610	20	3000	1200	25
Территории, прилегающие к промышленным <u>предприятиям</u>	2000	650	18	4000	1500	25
Кровли зданий и <u>сооружений</u>	< 20	< 80	0.01–0.70	< 20	< 100	0.01–0.70
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и <u>зеленые насаждения</u>	300	400	< 1	1500	1000	< 1

Результаты

Прибрежные территории в районе исследуемых створов расположены на участках с различными природно-антропогенными условиями. Так, в районе створа г. Дубна преобладают неэксплуатируемые земли, покрытые травянистой растительностью, жилая застройка отсутствует. В районе створа

г. Кимры преобладает индивидуальная жилая застройка (без подключения к централизованной системе канализации).

На рис. 2 и 3 приведены результаты обработки космических снимков районов исследуемых створов водохранилища в пределах прибрежной территории – полосы шириной 200 м (водоохранной зоны).

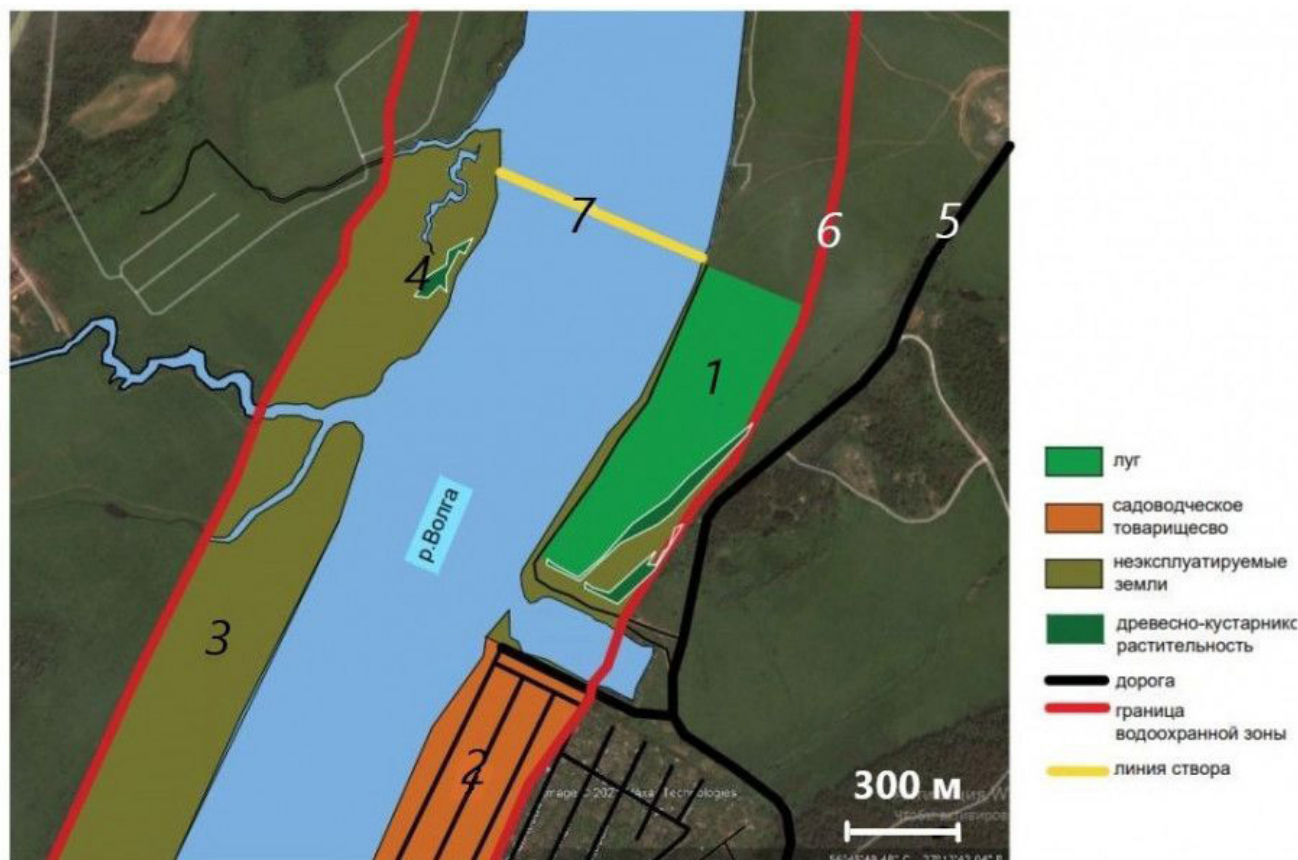


Рис. 2. Природно-техногенные объекты в районе створа № 1 (г. Дубна): 1 – луг, 2 – садоводческое товарищество, 3 – неэксплуатируемые земли, 4 – древесно-кустарниковая растительность, 5 – дорога, 6 – граница водоохранной зоны, 7 – линия створа

Fig. 2. Natural and man-made objects in the area of the station No 1 (Dubna): 1 – grassland, 2 – horticultural association, 3 – unused land, 4 – tree and shrub vegetation, 5 – road, 6 – border of the water protection zone, 7 – station line

В районе створа г. Дубна были выделены следующие объекты: луг, неэксплуатируемые земли (неиспользуемые земли), древесно-кустарниковая растительность, садовое товарищество «Мичуринец», дороги (см. рис. 2). Около 43 % площади относится к территориям, являющимся потенциальным источником таких загрязняющих веществ, как органические вещества, соединения азота, фосфора, а также нефтепродуктов.

В районе створа №2, г. Кимры (см. рис. 3),

были выделены следующие объекты: одноэтажная жилая застройка, древесно-кустарниковая растительность, неэксплуатируемые земли, песчаный берег, промышленная зона (территория порта), дороги. Результаты расчетов площадей (табл. 2) показали, что около 60 % исследованной территории является потенциальным источником таких загрязняющих веществ, как взвешенные вещества, органические вещества, минеральные соли, нефтепродукты.

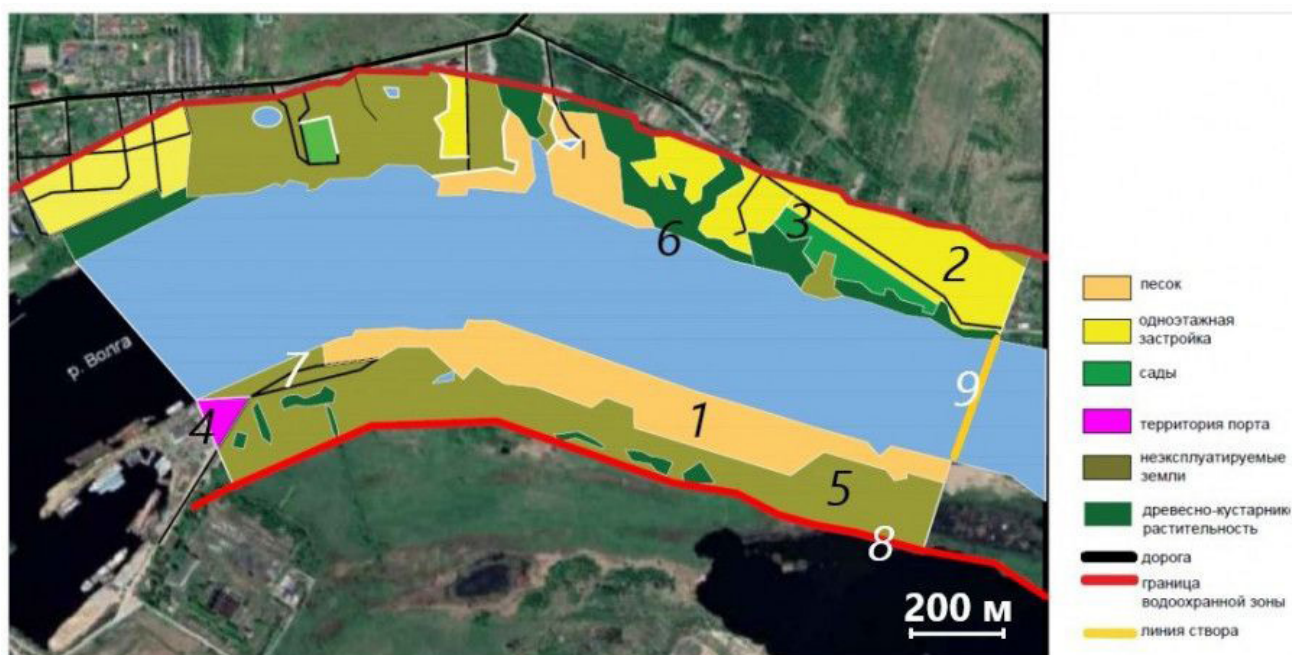


Рис. 3. Природно-техногенные объекты в район створа № 2 (г. Кимры): 1 – песок, 2 – одноэтажная застройка, 3 – сады, 4 – территория порта, 5 – неэксплуатируемые земли, 6 – древесно-кустарниковая растительность, 7 – дорога, 8 – граница водоохранной зоны, 9 – линия створа

Fig. 3. Natural and man-made objects in the area of the station No 2 (Kimry): 1 – sand, 2 – one-storey buildings, 3 – gardens, 4 – port territory, 5 – unused land, 6 – tree and shrub vegetation, 7 – road, 8 – border of the water protection zone, 9 – station line

Таблица 2. Площади формирования поверхностного стока с прибрежной полосы в районе исследуемых створов

Площадь стока	Площадь формирования дождевого стока	Створ в р-не г. Дубна, м ² (га)	Створ в р-не г. Кимры, м ² (га)
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Одноэтажная жилая застройка	–	95346.0 (9.53)
	Древесно-кустарниковая растительность	12530.0 (1.25)	70063.0 (7.01)
	Садовое товарищество, сады	83530.0 (8.35)	24103.0 (2.41)
	Луг	93112.0 (9.31)	–
	Неэксплуатируемые земли	314363.0 (31.44)	236360.0 (23.64)
	Песок (песчаный берег)	–	158543.0 (15.85)
	Итого	503535.0 (50.35)	760190.0 (76.01)
Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Дороги	7389.0 (0.74)	8334.0 (0.83)
	Общая площадь исследуемой территории (в пределах водоохранной зоны)	510924.0 (51.09)	589824.0 (58.98)

Для определения количества ЗВ, выносимых с исследованной территории, проводили расчет среднегодового стока (м³/год) дождевых и талых вод. При этом учитывались такие параметры, как среднегодовое количество осадков в виде дождя (Н_д), запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния (Н_т), коэффициент, характеризующий поверхность водосбора (Х_д, для асфальто-бетонные покрытий – 0.8, грунтовых покрытий – 0.2, газонов и зеленых насаждений – 0.1), коэффициент стока для снежного покрова (Х_т = 0.7).

Объем среднегодового дождевого стока (Q_д, м³/год) и талого стока (Q_т, м³/год) рассчитывали по формулам:

$$Q_d = 10 * H_d * S * X_d$$

$$Q_t = 10 * H_t * S * X_t$$

Объем среднечасового дождевого стока (q_д, м³/час) и талого стока (q_т, м³/час) рассчитывали по формулам:

$$q_{д.час.} = Q_d / N / n$$

$$q_{т.час.} = Q_t / N / n$$

При расчете среднечасового дождевого стока учитывается количество дождливых дней (N_д, дней) и средняя продолжительность одного дождя (n_д, часов). При расчете среднечасового талого стока учитывается период снеготаяния (N_т, дней) и суточная продолжительность снеготаяния (n_т, часов). Результаты расчета среднегодового стока (м³/год) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Среднегодовой поверхностный сток вод с прибрежной территории (м³ в год / м³ в час)

Сток	Створ в р-не г. Дубна			Створ в р-не г. Кимры		
	Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Вся площадь	Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Вся площадь
Q _{дожд.}	27190.890 /	3192.050 /	30382.940 /	31558.410 /	2336.690 /	33895.100 /
	47.700	5.600	53.300	55.370	4.100	59.470
Q _{снег.}	38772.200 /	568.950 /	39341.150 /	44999.960 /	416.490 /	45416.450 /
	387.720	5.690	393.410	450.000	4,160	454.160
Q _{общее}	65963.090 /	3761.000 /	69724.090 /	76558.370 /	2753.180 /	79311.550 /
	435.430	11.290	446.710	505.370	8.260	513.630

Результат расчета массы загрязняющих веществ, вынос которых возможен в водный объект с прибрежной территории, представлен в табл. 4.

Таблица 4. Расчетный удельный вынос с прибрежной территории, расположенной в районе изученных створов

Сток	Компоненты	Расчетная масса загрязняющих веществ, поступающих в водный объект, кг/год		Расчетная масса загрязняющих веществ, поступающих в водный объект, г/час	
		створ г. Дубна	створ г. Кимры	створ г. Дубна	створ г. Кимры
Дождевой сток	Взвеш. вещества	11349.320	11804.210	19.910	20.710
	ХПК (орг. вещества)	12823.510	14048.740	22.500	24.650
	Нефтепродукты	91.032	78.290	0.160	0.140
Талый сток	Взвеш. вещества	59865.150	68749.410	598.650	681.250
	ХПК (орг. вещества)	39119.260	45499.750	394.550	454.160
	Нефтепродукты	53.000	55.410	0.530	0.450
Суммарно	Взвеш. вещества	71214.470	80553.620	618.560	701.960
	ХПК (орг. вещества)	51942.770	59548.490	417.050	478.810
	Нефтепродукты	144.030	133.700	0.690	0.590

Для сравнения данных химического анализа с расчетными данными по выносу загрязняющих веществ было учтено общее разбавление поверхностного стока массой вод водного объекта (кратность начального разбавления и основного разбавления):

$$n = n_n * n_o,$$

где n – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке,

n_n – кратность начального разбавления,

n_o – кратность основного разбавления.

Коэффициент основного разбавления вод был рассчитан по методу В. А. Фролова – И. Д. Родзиллера, начального разбавления – по методу Н. Н. Лапшева (Методика..., 2020).

В расчете учитывали гидравлические условия на исследуемом участке водохранилища: коэффициенты извилистости и турбулентной диффузии, средняя скорость течения, средняя глубина, коэффициент шероховатости ложа и др.

Для района расчетных створов были по-

лучены схожие по значению коэффициенты общего разбавления, равные 250.

Сопоставление результатов, полученных в ходе расчета массы загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком с прибрежной территории, с фактическими данными химического анализа вод Дубнинской экоаналитической лаборатории приведено в табл. 5.

Результаты химического анализа вод водохранилища были усреднены за 4 года наблюдения. При этом для сравнения с предполагаемыми по приоритетным показателям значениями вод, поступающих с дождевым стоком с расчетных площадок, использовались данные за периоды, когда наблюдаются осадки в виде дождей (май – октябрь). Для сравнения поступления с талым стоком брались данные химического анализа, соответствующие месяцам максимального снеготаяния (март, апрель).

Таблица 5. Сравнение расчетных данных с фактическими данными лабораторного анализа

	Дождевой сток, мг/дм ³			Талый сток, мг/дм ³		
	взвеш. вещества	ХПК	нефтепродукты	взвеш. вещества	ХПК	нефтепродукты
В районе г. Дубна						
Расчетная величина концентрации ЗВ, выносимых с поверхностным стоком, мг/дм ³	19.910	22.500	0.160	598.650	394.550	0.530
Расчетная средневзвешенная величина с учетом разбавления реки, мг/дм ³	0.079	0.090	0.001	2.395	1.578	0.002
Фактические данные, полученные в лаборатории, мг/дм ³	3.000	46.860	0.058	6.500	31.860	0.072
В районе г. Кимры						
Расчетная величина концентрации ЗВ, выносимых с поверхностным стоком, мг/дм ³	20.710	24.650	0.140	681.250	454.160	0.450
Расчетная средневзвешенная величина с учетом разбавления реки, мг/дм ³	0.083	0.099	0.001	2.725	1.817	0.002
Фактические данные, полученные в лаборатории, мг/дм ³	26.000	29.340	0.092	15.375	37.700	0.064

Обсуждение

Расчетные величины количества взвешенных веществ с учетом разбавления водами водохранилища и фактические значения, полученные в результате химического анализа вод исследуемых створов Угличского водохранилища, различаются:

- для дождевого стока: створ г. Дубна в 38 раз (0.079 и 3.000 мг/дм³ соответственно),

створ г. Кимры в 313 раз (0.083 и 26.000 мг/дм³ соответственно);

- для талого стока: створ г. Дубна в 3 раза (395 и 6.500 мг/дм³ соответственно), створ г. Кимры в 5.6 раза (2.725 и 15.375 мг/дм³ соответственно).

Соотношения расчетных значений по ХПК и фактических значений различаются:

- для дождевого стока: створ г. Дубна в 521 раз (0.090 и 46.860 мг/дм³ соответствен-

но), створ г. Кимры в 296 раз (0.099 и 29.340 мг/дм³ соответственно);

- для талого стока: створ г. Дубна в 20 раз (1.578 и 31.860 мг/дм³ соответственно), створ г. Кимры в 21 раз (1.817 и 37.700 мг/дм³ соответственно).

По нефтепродуктам соотношения значений различаются:

- для дождевого стока: створ г. Дубна в 58 раз (0.001 и 0.058 мг/дм³ соответственно), створ г. Кимры в 92 раза (0.001 и 0.092 мг/дм³ соответственно);

- для талого стока: створ г. Дубна – в 36 раз (0.002 и 0.072 мг/дм³ соответственно), створ г. Кимры – в 32 раза (0.002 и 0.064 мг/дм³ соответственно).

Расчетные величины по приоритетным показателям (взвешенные вещества, ХПК, нефтепродукты, с учетом разбавления водами водохранилища) ниже фактических значений, полученных в результате химического анализа вод исследуемых створов Угличского водохранилища.

Таким образом, можно заключить, что вклад поверхностного стока с прибрежной территории составляет лишь малую часть загрязнения, поступающего в целом с водосбора (расчет которого в данном исследовании не проводился).

Также можно предположить, что, помимо поверхностного стока с прилегающих прибрежных территорий, существенный вклад в загрязнение вод в районе исследуемого створа вносят и иные источники.

Значительным фактором может быть привнесение загрязняющих веществ притоками: изучаемый створ в районе г. Дубна расположен в зоне влияния Южной и Северной водоотводных канав, створ в районе г. Кимры – в зоне влияния р. Кимрка (левого притока р. Волги (Угличского водохранилища)). При этом стоит отметить, что расчетные величины в обоих изученных створах по взвешенным веществам и по нефтепродуктам сопоставимы, однако фактическое содержание этих показателей в створе г. Кимры выше, чем в створе г. Дубна. Возможно, это связано с расположением второго створа в непосредственной близости от порта Кимры (900 м выше по течению).

Принимая во внимание характер застройки прибрежной территории, неучтенным при расчете источником поступления загрязняющих веществ в водохранилища может быть неорганизованный сток хозяйственно-бытовых вод. В частности, садовое товарищество «Мичуринец» в районе первого створа, ин-

дивидуальный жилой сектор в районе 2-го створа – объекты без централизованной системы канализации, с выгребными ямами и септиками.

Оценка годового поступления загрязняющих веществ в водный объект с поверхностным стоком показала, что расчетная масса (см. табл. 4) по взвешенным веществам для створов г. Дубна и г. Кимры составляет 71214.470 и 80553.620 кг/год соответственно, по нефтепродуктам – 144.030 и 133.700 кг/год, органического вещества (по значению показателя ХПК) – 51942.770 и 59548.490 кг/год. По значению показателя ХПК оценена масса поступления в водный объект углерода, содержащегося в органическом веществе (учитывая коэффициент отношения количества вещества эквивалента углерода к количеству вещества эквивалента кислорода, значения коэффициента составляет 0.375): для створа г. Дубна – 19478.539 кг/год, для створа г. Кимры – 22330.684 кг/год.

Заключение

Проведена оценка объемов годового поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежных территорий в районе двух створов Угличского водохранилища с применением расчетного метода согласно предложенному алгоритму. Анализ полученных результатов показал, что в пробах вод, отобранных на изученных створах водохранилища, фактические значения по приоритетным показателям выше, чем расчетные. Такое соотношение полученных величин позволяет сделать следующие предположения:

- вклад загрязняющих веществ в Угличское водохранилище с поверхностным стоком с рассмотренных участков прибрежной территории составляет лишь малую часть загрязнения, поступающего со всего водосбора водохранилища (расчет которого в данном исследовании не проводился);

- есть иные, неучтенные в данном расчете, источники поступления загрязняющих веществ в воды водохранилища, помимо поверхностного стока с участков прибрежной территории (к таковым можно отнести неорганизованные стоки хозяйственно-бытовых вод, внутриводоемные процессы, привнесение загрязняющих веществ притоками);

- несоблюдение режима водоохранной зоны и прибрежных защитных полос способствует увеличению загрязнения водных объектов (застройка прибрежной территории,

без подключения к централизованной системе водоотведения, в т. ч. для отведения дождевых, талых, инфильтрационных и дренажных вод, размещение в непосредственной близости от уреза воды садоводческих товариществ, где осуществляется применение пестицидов и агрохимикатов и т. д.).

Результаты расчета показывают, что поверхностный сток с рассмотренных прибрежных территорий является значительным источником поступления загрязняющих

веществ в водные объекты.

Таким образом, можно заключить, что оценка объемов поступления загрязняющих веществ от неорганизованных, диффузных источников, расположенных в прибрежной зоне водных объектов, должна учитываться при выборе параметров хозяйственной деятельности и методов водоохраных мероприятий с целью сохранения качества поверхностных вод.

Библиография

- Григорьева И. Л. Закономерности и факторы формирования зимнего гидрохимического режима Угличского водохранилища // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 52–64. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-4.
- Коронкевич Н. И., Долгов С. В. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4 (72). С. 103–110. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.22.4.103-110.
- Лазарева Г. А. Оценка качества вод Угличского водохранилища по интегральным гидрохимическим показателям // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2016а. № 2. С. 156–162. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-2-158-164.
- Лазарева Г. А., Панина Е. В. Экологическое состояние искусственных водных объектов (на примере Северной и Южной водоотводных канав г. Дубна) // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2016б. № 1. С. 70–77. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-1-70-77.
- Лазарева Г. А., Новикова П. В., Ковалева О. И. Оценка поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком в Шлинское водохранилище // Международный научно-исследовательский журнал (International research journal). 2020. № 12 (102). Ч. 2. Декабрь. С. 74–77. DOI: 10.23670/IRJ.2020.102.12.047.
- Методические указания по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод. Утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17 октября 2014 года № 639/п. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=246883&ysclid=l6y41fcbdj223679635> (дата обращения: 18.08.2022).
- Методика разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей. Утверждена приказом МПР России от 29 декабря 2020 года № 1118. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275596#6520IM> (дата обращения: 18.08.2022).
- СП 131.13330.2018. Свод правил. Строительная климатология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821?ysclid=l6yo16s7li797923061> (дата обращения: 18.08.2022).
- Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2021 года // Сайт Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ): URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mun_obr2021.rar (дата обращения: 18.08.2022).
- Шахова Н. А., Лазарева Г. А., Ковалева О. И. Влияние антропогенной деятельности на Угличское водохранилище // Актуальные проблемы экологии: теория, практика, образование: Материалы научно-практической конференции, проведенной в рамках межрегионального молодежного экологического форума «Экореновация-2018» (Владимир, 28–30 ноября 2018. г.). Владимир: ВлГУ, 2019. С. 108–115.
- Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневская И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 2. С. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244.
- Яковченко С. Г., Михайлов С. А. Применение ГИС для оценки нагрузки на водный объект от неточечных источников // Геоинформатика-2000: Труды Международной научно-практической конференции / Под ред. А. И. Рюмкина, Ю. Л. Костюка, А. В. Скворцова. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2000. С. 195–199.

ASSESSMENT OF THE INFLOW OF POLLUTANTS INTO THE UGLICH RESERVOIR WITH SURFACE RUNOFF FROM THE COASTAL TERRITORY

LAZAREVA
Galina Aleksandrovna

PhD, Dubna State University, lazarevg@mail.ru

SHAKHOVA
Natalia Aleksandrovna

Dubna Ecoanalytic Laboratory, lazarevg@mail.ru

ANISIMOVA
Olga Vitalevna

PhD, Dubna State University, ol_anisimova@mail.ru

Keywords:

diffuse pollution
hydrochemical indicators
volume of pollutants
intake
surface runoff
Uglich reservoir

Summary: In order to study the inflow of pollutants into water bodies with surface runoff and search for mathematical methods for calculating it, a research algorithm was proposed. According to it, at the first stage, the calculation of the volume of surface runoff and the mass of specific removal of pollutants from the coastal territory (200 m wide) located in the area of the studied station (taking into account the nature of the underlying surface, climatic characteristics, etc.). At the second stage, a chemical analysis of waters is carried out according to priority hydrochemical indicators. At the third stage, calculated data on priority indicators (taking into account the dilution of the river) and actual ones are analyzed and compared. The algorithm was applied in the study of the upper stations of the Uglich reservoir in the area of Dubna and Kimry (Abramovo village). In assessing the contribution of surface runoff from residential areas, only priority indicators were used: suspended solids, petroleum products, chemical oxygen consumption. The data of chemical analysis of reservoir waters were averaged over 4 years of observation. The results obtained by the calculation method are compared with the actual data of laboratory chemical analysis of waters. The mass of the annual intake of pollutants with surface runoff from the coastal territory was estimated. It was shown that runoff from the studied coastal territories was not the only source of pollution in the area of the studied stations. Considering the nature of the development (the predominance of individual residential development without a centralized sewerage system, with cesspools and septic tanks), a significant contribution to water pollution may be due to unorganized runoff of household water, as well as the introduction of pollutants by tributaries – drainage ditches, the Kimrka River, etc.

Received on: 09 June 2022

Published on: 02 October 2022

References

- A set of rules. Construction climatology. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821?ysclid=l6yo16s7li797923061> (data obrascheniya: 18.08.2022).
- Grigor'eva I. L. Regularities and factors of formation of the winter hydrochemical regime of the Uglich reservoir, *Vodnoe hozyaystvo Rossii*. 2020. No. 2. P. 52–64. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-4.
- Koronkevich N. I. Dolgov S. V. Runoff from the catchment area as a source of diffuse pollution of rivers, *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2017. No. 4 (72). P. 103–110. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.22.4.103-110.
- Lazareva G. A. Novikova P. V. Kovaleva O. I. Assessment of the inflow of pollutants from surface runoff into the Shlinsky reservoir, *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* (International research journal). 2020. No. 12 (102). Ch. 2. Dekabr'. P. 74–77. DOI: 10.23670/IRJ.2020.102.12.047.
- Lazareva G. A. Panina E. V. Ecological condition of artificial water bodies (on the example of the Northern and Southern drainage ditches of Dubna), *Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki*. 2016b. No. 1. P. 70–77. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-1-70-77.
- Lazareva G. A. Assessment of water quality of the Uglich reservoir by integral hydrochemical indicators, *Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennye nauki*. 2016a. No. 2. P. 156–162. DOI: 10.18384/2310-7189-

2016-2-158-164.

- Methodological guidelines for calculating the volumes of received (diverted) surface wastewater. Utverzhdeny prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishno-kommunal'nogo hozyaystva RF ot 17 oktyabrya 2014 goda No. 639/pr. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=246883&ysclid=l6y41fcbdj223679635> (data obrascheniya: 18.08.2022).
- Methodology for the development of standards for permissible discharges of pollutants into water bodies for water users. Utverzhdena prikazom MPR Rossii ot 29 dekabrya 2020 goda No. 1118. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275596#6520IM> (data obrascheniya: 18.08.2022).
- Shahova N. A. Lazareva G. A. Kovaleva O. I. The impact of anthropogenic activity on the Uglich water reservoir, Aktual'nye problemy ekologii: teoriya, praktika, obrazovanie: Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, provedennoy v ramkah mezhregional'nogo molodezhnogo ekologicheskogo foruma «Ekorenovaciya-2018» (Vladimir, 28–30 noyabrya 2018. g.). Vladimir: VIGU, 2019. P. 108–115.
- The number of permanent population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2021, Sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki (ROSSTAT): URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mun_obr2021.rar (data obrascheniya: 18.08.2022).
- Yakovchenko S. G. Mihaylov S. A. Application of GIS to assess the load on a water body from non-point sources, Geoinformatika-2000: Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, Pod red. A. I. Ryumkina, Yu. L. Kostyuka, A. V. Skvorcova. Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 2000. C. 195–199.
- Yasinskiy S. V. Venicianov E. V. Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of waterbodies and assessment of nutrient removal under different land-use scenarios in a catchment area, Vodnye resursy. 2019. T. 46, No. 2. C. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244.



УДК 630*182.21; 574.4

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В РАСТЕНИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

ПРИСТОВА

Татьяна Александровна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми НЦ УрО
РАН, pristova@ib.komisc.ru

Ключевые слова:

тайга
рубки
лиственные леса
концентрация углерода
в растениях

Аннотация: В настоящее время изучение углеродного цикла в лесных экосистемах является актуальным вопросом в современных научных исследованиях. Данные по концентрации углерода позволяют оценить его запасы в фитомассе лесных экосистем – одном из важнейших пулов в цикле углерода. Рубки таежных лесов и последующее лесовосстановление с формированием лиственных насаждений приводят к изменению основных параметров углеродного цикла. Цель работы состояла в определении концентрации углерода в растениях лиственных фитоценозов послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми. Исследования проведены в 12-летнем березово-еловом молодняке, 38-летнем осиново-березовом и 45-летнем лиственно-хвойном насаждениях, произрастающих на месте вырубок. На основании таксационных и геоботанических исследований определено 17 видов растений разных ярусов, наиболее представленных во всех трех исследуемых фитоценозах. Растительные образцы для химического анализа отобраны в 5–20-кратной повторности. Содержание углерода в них определено методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (фирма «CE Instruments», Италия). Установлено, что средняя концентрация углерода в изучаемых видах растений составляет от 41.4 ± 1.8 до 50.8 ± 2.4 %. Исследуемые виды растений по концентрации углерода условно разделены на три группы. К первой группе относятся преимущественно мхи и травы, ко второй – береза и осина, к третьей – кустарнички и ель. Выявлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в исследуемых лесных фитоценозах, различается незначительно (1–3 %) и эти различия статистически не значимы ($p > 0.05$). Полученные данные могут использоваться для расчетов запасов углерода в фитомассе лиственных насаждений послерубочного происхождения подзоны средней тайги.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Я. В. Зачиняев

Получена: 21 декабря 2022 года

Подписана к печати: 25 сентября 2022 года

Введение

Одним из основных пулов в углеродном цикле лесных экосистем является его депонирование в фитомассе. Углерод является каркасным элементом органического вещества, в связи с этим запасы углерода тесно взаимосвязаны с фитомассой. Данные по концентрации углерода позволяют оценить его запасы в фитомассе лесных экосистем (Замолодчиков, 2011; Melvin et al., 2015). При расчетах запасов углерода в фитомассе

концентрацию углерода принимали равной 45–50 % а.с.в. (Кобак, 1988). В настоящее время разработаны конверсионные коэффициенты для расчетов запасов углерода в древостоях лесных экосистем (Замолодчиков, Уткин, 2000). Рубки таежных лесов и последующее лесовосстановление с формированием лиственных насаждений приводят к изменению основных параметров углеродного цикла и существенному изменению запасов углерода в фитомассе (Замолодчиков,

2011). Кроме того, рубка лесов и последующее формирование лиственных фитоценозов на месте хвойных приводят к изменению видового состава растений (Дегтева, 2001). Для лесных экосистем Республики Коми определено содержание углерода в различных видах растений для среднетаежных сосновых и еловых фитоценозов (Бобкова, Тужилкина, 2001) и крайнесеверотаежных лесов (Пристова и др., 2018). Цель работы – определение концентрации углерода в наиболее распространенных в среднетаежных лиственных фитоценозах послерубочного происхождения видах растений.

Таблица 1. Характеристика исследуемых лиственных фитоценозов

Тип насаждения	Возраст, лет	Состав древостоя	Число деревьев, экз./га	Почва
Березово-еловый молодняк разнотравно-зеленомошный	12	5Б5Еед.Сед.Ос	467	Торфянисто-подзолисто-глееватая
Осиново-березовое разнотравно-черничное	38	5Ос4Б1Еед.Пх	2778	Торфянисто-подзолисто-глееватая
Лиственно-хвойное разнотравно-черничное	45	5Ос4Б1С+Е	1675	Иллювиально-железистый подзол

Методы

В исследуемых насаждениях заложены ППП, определены основные характеристики древостоев и тип почвы по общепринятым методикам. Для характеристики живого напочвенного покрова (ЖНП) на каждой ППП определен видовой состав, общее проективное покрытие растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов и проективное покрытие каждого вида. Надземную часть растений ЖНП для химического анализа отбирали в 20-кратной для древесных в 3–5-кратной повторности для каждого фитоценоза. Подземная часть растений ЖНП и тонких древесных корней отбиралась методом монолитов на глубину до 30 см в 10-кратной повторности, крупных древесных корней – путем раскопки и их полного извлечения для каждого вида. Образцы подземных частей растений промывались. Все растительные образцы высушивались до абсолютно сухого веса (а.с.в.) при температуре 105 °С и измельчались. Содержание углерода в растительных образцах определено в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН по аттестованной методике измерений № 88-17641-94-2009 (ФР.1.31.2014.17663) «Методика выполнения измерений содержания углерода

Материалы

Исследования проведены в подзоне средней тайги на базе Ляльского лесозоологического стационара Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Княжпогостского района Республики Коми в березово-еловом молодняке, осиново-березовом и лиственно-хвойном насаждениях, произрастающих на месте вырубок. В этих насаждениях заложены постоянные пробные площади (ППП) и определены основные характеристики древостоев и тип почвы по общепринятым методикам (табл. 1).

и азота на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (фирма «CE Instruments», Италия)). Границы интервала абсолютной погрешности определения концентрации углерода (при уровне абсолютной значимости $p = 0.95$) составили 1.2–2.4 %. Концентрация углерода приведена в % а.с.в., статистически значимые коэффициенты на уровне $p > 0.05$.

Результаты

В исследуемых фитоценозах произрастает около 50 видов растений, в т. ч. древесных – 13, напочвенного покрова – 32–38. Видовое сходство, определяемое с помощью коэффициента Жаккара ($K_{ж}$), между исследуемыми березово-еловым и осиново-березовым насаждениями составляет 70 % (Пристова, 2019), а между ними и лиственно-хвойным насаждением – 50–60 %.

Древостой исследуемых фитоценозов сложный по составу и представлен березой (*Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh.), елью (*Picea obovata* Ledeb.), осиной (*Populus tremula* L.) и сосной (*Pinus sylvestris* L.), подрост – березой (*Betula pendula*, *B. pubescens*), елью (*Picea obovata*) и пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.). Подлесок представлен ивой козьей (*Salix caprea* L.), и. пятичичиной (*S. pentandra* L.), и. филиколистной (*S. philicifolia* L.), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia*

L.), шиповником (*Rosa acicularis* Lindl.), жимолостью (*Lonicera pallasii* L.) и можжевельником (*Juniperus communis* L.). При этом в древостое всех трех исследуемых насаждений встречаются только береза, осина и ель (см. табл. 1), в подросте – ель и береза, в подлеске – рябина и ива козья.

Напочвенный покров отличается большой мозаичностью и насчитывает более 30 видов растений в каждом из исследуемых фитоценозов. По показателям проективного покрытия среди кустарничков можно выделить чернику (*Vaccinium myrtillus* L.) и бруснику (*V. vitis-idaea* L.), травы: марьянник лесной (*Melampyrum sylvaticum* L.), золотую розгу (*Solidago virgaurea* L.), иван-чай (*Chamerion angustifolium* (L.) Scop.), бодяк разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill.) ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.), луговик дернистый или щучку дернистую (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) и осоки (*Carex* sp.), среди мхов: кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.), сфагнум (*Sphagnum magellanicum* Brid.), хилокомиум (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.) и дикранум (*Dicranum polisetum* Sw.). В напочвенном покрове исследуемых лиственных фитоценозов присутствуют виды *Chamerion angustifolium*, *Melampyrum sylvaticum*, *Cirsium heterophyllum*, *Deschampsia cespitosa*, которые характерны для светлых лиственных лесов и вырубок (Дегтева, 2001). Таким образом, на основании таксационных и геоботанических исследований выделено 17 видов растений, которые наиболее представлены и встречаются во всех трех лиственных фитоценозах. В древостое выделено три древесные породы (береза, осина и ель), в подлеске – две (рябина и ива козья), в травяно-кустарничковом ярусе – 8 (черника, брусника, луговик дернистый, осока, марьянник лесной, иван-чай, золотая розга, бодяк разнолистный) и в моховом – четыре вида растений (сфагнум, кукушкин лен, хилокомиум и дикранум).

Концентрация углерода в исследуемых видах растений составляет от 41.4 ± 1.3 до 50.8 ± 1.8 % а.с.в. (рис. 1, 2, табл. 2). В литературе приводится схожий диапазон содержания углерода в лесных растениях: в среднем 45–53 % а.с.в. (Замолотчиков, 2011), 42–53 % для таежных хвойных (Бобкова, Тужилкина, 2001) и 39–51 % для крайнесеверных лесов Республики Коми (Пристова и др., 2018).

Содержание углерода для трех лесообразующих пород в исследуемых лиственных насаждениях в зависимости от видовой принадлежности и части растения изменяется от 44.3 ± 1.5 до 50.1 ± 1.8 % а.с.в. (см. рис. 1). Диапазон концентрации углерода для этих видов древесных растений таежных лесов Республики Коми находится примерно в таких же пределах – 44.6–49.9 % (Бобкова, Тужилкина, 2001). Довольно близкие к полученным приводятся данные для хвойели (49.93 %) и листьев березы (47.16 %) в средневозрастных березняках (Melvin et al., 2015). Содержание углерода в различных видах и частях древесных растений дифференцировано, при этом в стволовой древесине оно, как правило, ниже. Среди исследуемых древесных растений наиболее высоким содержанием углерода отличается ель, особенно ее хвоя и ветви, низким – осина, преимущественно ее стволовая древесина. Для таежных лесов Республики Коми также приводятся более низкие показатели концентрации углерода у осины по сравнению с березой и елью (Бобкова, Тужилкина, 2001).

Концентрация углерода в исследуемых подлесочных породах – иве козьей и рябине – изменяется от 45.3 ± 1.6 до 48.9 ± 1.7 % а.с.в. (см. рис. 2). Более низким содержанием углерода по сравнению с рябиной отличается ива. Для исследуемых видов характерно низкое содержание углерода в стволовой древесине и высокое – в ветвях. Концентрация углерода в подземных органах данных видов сопоставима с ветвями и ассимилирующими органами.

В растениях напочвенного покрова исследуемых фитоценозов содержание углерода в зависимости от вида изменяется от 41.4 ± 1.3 до 50.8 ± 1.8 % а.с.в. (см. табл. 2). Согласно литературным данным, в растениях напочвенного покрова таежных лесов Республики Коми диапазон концентрации углерода находится в пределах 42–53 % (Бобкова, Тужилкина, 2001). В крайнесеверных лесных фитоценозах (в т. ч. лиственных) в предгорьях Приполярного Урала Республики Коми содержание углерода в растениях напочвенного покрова варьировало в пределах 39–50 % а.с.в. (Пристова и др., 2018). Можно отметить, что практически для всех общих с крайнесеверными фитоценозами видов растений концентрация углерода ниже по сравнению с исследуемыми.

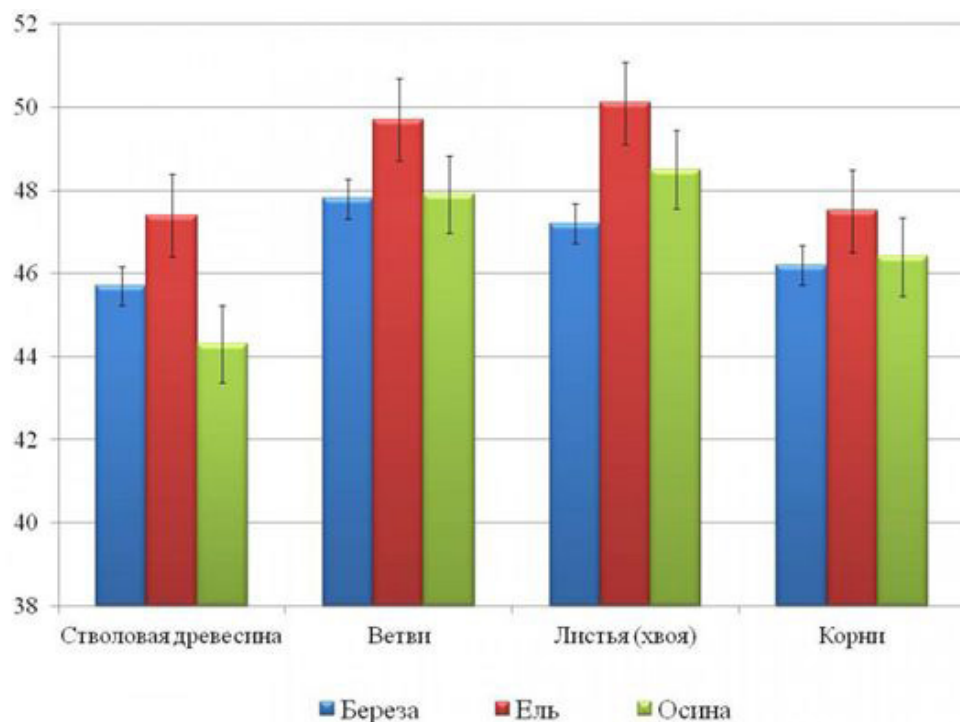


Рис. 1. Средняя концентрация углерода в древесных растениях древостоя лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Fig. 1. Average concentration of carbon in plants of tree stands of deciduous phytocenoses, % dry matter

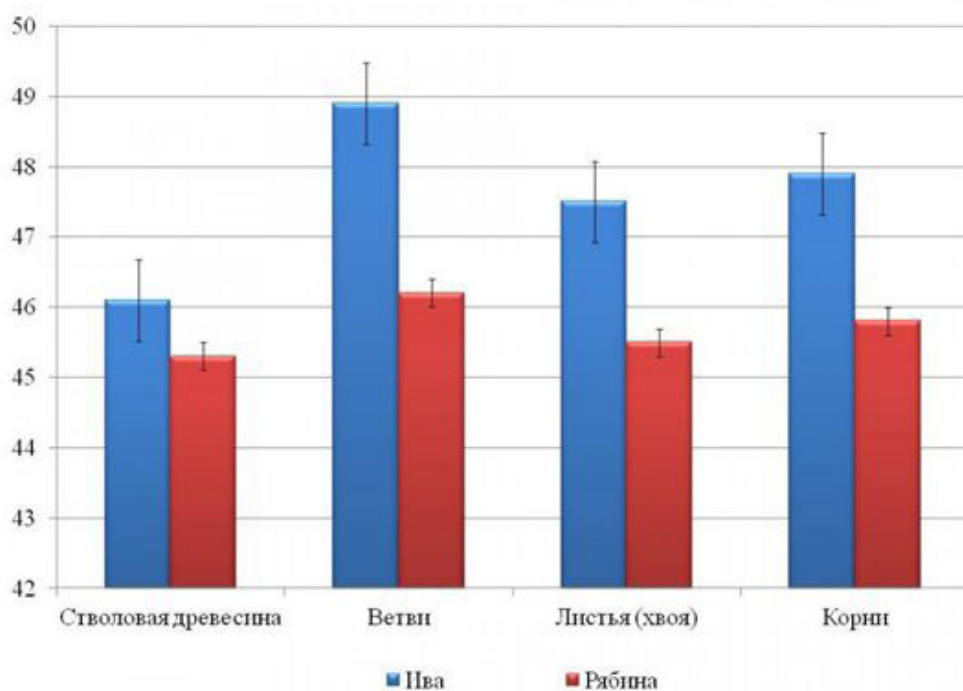


Рис. 2. Средняя концентрация углерода в древесных растениях подлеска лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Fig. 2. Average concentration of carbon in woody plants of the undergrowth of deciduous phytocenoses, % dry matter

Таблица 2. Средняя концентрация углерода в растениях напочвенного покрова лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Травы	С ± Δ, %	Кустарнички и мхи	С ± Δ, %
Надземная часть			
Луговик дернистый	43.1 ± 1.4	Черника	50.8 ± 1.8
Осоки	41.4 ± 1.3	Брусника	48.9 ± 1.7
Марьянник лесной	43.4 ± 1.5	Кукушкин лен	44.7 ± 1.6
Золотая розга	43.9 ± 1.5	Сфагнум	42.5 ± 1.4
Иван-чай	46.2 ± 1.6	Хилокомиум	42.6 ± 1.4
Бодяк разнолистный	43.2 ± 1.5	Дикранум	42.8 ± 1.5
Подземная часть			
Травянистые растения	43.1 ± 1.4	Кустарнички	48.4 ± 1.7

Примечание. ±Δ – границы интервала абсолютной погрешности при $p = 0.95$.

Низким содержанием углерода среди исследуемых растений отличаются мхи и осоки, наиболее высоким – кустарнички (см. табл. 2). Для мхов таежных лесов Коми приводится схожий уровень концентрации углерода – 42–45 %, а для кустарничков – более широкий диапазон от 48 до 53 % (Бобкова, Тужилкина, 2000). Концентрация углерода в подземной части травянистых растений и кустарничков в среднем схожа с их надземной. В растениях напочвенного покрова, как и в древесных, содержание углерода в разных частях растения отличается. Например, в молодых побегах черники в лиственно-хвойном насаждении содержится 53.8 %, а в старых – 48.0 % углерода.

Нами установлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в исследуемых лесных фитоценозах, различается незначительно – не более 1–2 %, что не превышает пределов погрешности. Например, содержание углерода в надземной части луговика дернистого в лиственно-хвойном насаждении составляет 43.01, в березово-еловом молодняке – 43.10, в осиново-березовом насаждении – 43.18 % а.с.в. В подземных органах травянистых растений диапазон содержания углерода во всех трех исследуемых фитоценозах варьировал от 43 до 44 %. Влияние различий между условиями местообитания исследуемых лиственных фитоценозов на концентрацию углерода в отдельных частях древесных растений также незначительно. Так, концентрация углерода в листьях осины в лиственно-хвойном насаждении составляет 48.1, в осиново-березовом насаждении – 48.9 % а.с.в. Различия в концентрации углерода для одних и тех же видов и частей растений исследуемых лиственных фитоценозов статистически не значимы ($p > 0.05$).

Обсуждение

Результаты исследований по содержанию углерода в растениях, произрастающих в лиственных лесах послерубочного происхождения, позволяют определить их место среди имеющегося в настоящее время фактического материала по данному показателю для таежных лесов Республики Коми. На первый взгляд, диапазон показателей концентрации углерода в исследованных фитоценозах по сравнению с данными других исследователей довольно близок. Если в полученных данных содержание углерода составляет 41–51 % а.с.в., то в литературе приводится схожий диапазон: 42–53 % для среднетаежных хвойных лесов (Бобкова, Тужилкина, 2001) и 39–51 % для крайнесеверных (Пристова и др., 2018). Однако различия, пусть и небольшие, существуют и в определенной степени они обусловлены различием в видовом составе фитоценозов и более низкой концентрацией углерода в растениях крайнесеверных лесов.

Согласно полученным данным, по уровню накопления углерода изучаемые виды растений можно условно разделить на три группы: 1) концентрация углерода менее 45 %; 2) концентрация углерода в диапазоне 45–48 %; 3) концентрация углерода превышает 48 %. К первой группе относятся мхи и травянистые растения, ко второй – береза и осина, к третьей – кустарнички и ель. Однако в выделенных группах есть исключения. Например, для иван-чая характерно более высокое содержание углерода, не совсем характерное для других видов трав (см. табл. 2). Среди древесных растений исключением является осина, для которой характерна низкая концентрация углерода в стволовой древесине (менее 45 %), чем в остальных частях дерева

(см. рис. 1). Все это указывает на видоспецифичность и выявляет индивидуальные особенности в содержании углерода для исследуемых видов растений.

Установлено, что в древесных растениях содержание углерода выше, чем в большинстве травянистых. Такая же особенность отмечается и в других исследованиях (Бобкова, Тужилкина, 2000; Пристова и др., 2018). Возможно, эти различия в концентрации углерода частично обусловлены тем, что для травянистых растений характерно высокое содержание зольных элементов, и в связи с этим более низкое значение этого показателя, чем в древесине, содержащей в своем составе большое количество лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы (Кобак, 1988).

Одним из важных результатов, которое может иметь дальнейшее применение в исследованиях, является то, что различия в концентрации углерода для одних и тех же видов растений исследуемых лиственных фитоценозов независимо от их возраста и состава древостоя статистически не значимы.

Библиография

- Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–74.
- Дегтева С. В. Классификация березняков подзон южной и средней тайги Республики Коми. I. Березняки травянистые (*Betula herbosa*) // Растительность России. 2001. № 2. С. 3–37.
- Замолотчиков Д. Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4 (29). С. 15–22.
- Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54–63.
- Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 246 с.
- Пристова Т. А. Динамика надземной фитомассы живого напочвенного покрова в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21, № 2. С. 204–209.
- Пристова Т. А., Загирова С. В., Манов А. В. Продукция органического вещества и аккумуляция углерода в напочвенном покрове еловых и березовых фитоценозов в предгорьях Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 2. С. 53–61. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-053/2-061.
- Melvin A. M., Michelle C. M., Johnstone J. F., McGuire A. D., Genet H., Schuur E. A. G. Differences in ecosystem carbon distribution and nutrient cycling linked to forest tree species composition in a mid-successional boreal forest // Ecosystems. 2015. № 18. P. 1472–1488. DOI: 10.1007/s 1007-015-9912-7.

Благодарности

Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера, а также Тумановой Е. А., ведущему инженеру-химику экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН (№ АААА-А 17-117122090014-8) «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России».

Заключение

Определено содержание углерода в 17 видах растений, относящихся к древостой, подлеску и напочвенному покрову и наиболее представленных в трех разновозрастных среднетаежных лиственных фитоценозах послерубочного происхождения. Согласно полученным данным, концентрация углерода в исследуемых видах растений находится в диапазоне от 41.4 ± 1.8 до 50.8 ± 2.4 % а.с.в., и по уровню его накопления их можно условно разделить на три группы: 1) менее 45 % (мхи и травы); 2) 45–48 % (лиственные и подлесочные породы); 3) более 48 % (ель и кустарнички). Установлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в каждом из исследуемых лесных фитоценозов, различается незначительно – не более 1–3 % и статистически незначимы ($p > 0.05$). Полученные результаты могут использоваться для оценки запасов углерода в фитомассе при изучении углеродного цикла среднетаежных лиственных фитоценозов послерубочного происхождения.

CARBON CONTENT IN PLANTS OF THE MIDDLE TAIGA DECIDUOUS FOREST OF THE KOMI REPUBLIC

PRISTOVA
Tatyana Alexandrovna

*PhD, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
pristova@ib.komisc.ru*

Keywords:

taiga
cutting
deciduous forest
carbon concentration in plants

Summary: At present, the study of the carbon cycle in forest ecosystems is a topical issue in modern scientific research. Data on the carbon concentration allow us to estimate its reserves in the phytomass of forest ecosystems – one of the most important pools in the carbon cycle. Logging of taiga forests and subsequent reforestation with the formation of deciduous plantations leads to a change in the main parameters of the carbon cycle. The aim of the work was to determine the carbon concentration in plants of deciduous phytocenoses of post-harvest origin in the conditions of the middle taiga of the Komi Republic. The studies were carried out in 12-year-old birch-spruce young stands, 38-year-old aspen-birch and 45-year-old deciduous-coniferous stands growing at the site of felling. Based on taxation and geobotanical studies, 17 plant species of different tiers were identified as the most represented in all three studied phytocenoses. Plant samples for chemical analysis were taken in 5–20 replicates. The carbon content in them was determined by gas chromatography on the EA 1110 (CHNS-O) element analyzer (CE Instruments, Italy). It was found that the average concentration of carbon in the studied plant species ranged from 41.4 ± 1.8 to 50.9 ± 2.4 %. The studied plant species by carbon concentration were conventionally divided into 3 groups. The first group included mainly mosses and grasses, the second – birch and aspen, and the third – shrubs and spruce. It was revealed that the carbon concentration of the same plant species growing in the studied forest phytocenoses differed slightly (1–3 %) and these differences are not statistically significant ($p > 0.05$). The obtained data can be used to calculate carbon stocks in the phytomass of deciduous plantations of post-cutting origin of the middle taiga subzone.

Reviewer: Y. V. Zachinyaev

Received on: 21 December 2021

Published on: 25 September 2022

References

- Bobkova K. S. Tuzhilkina V. V. Carbon content and calorie content of organic matter in forest ecosystems of the North, *Ekologiya*. 2001. No. 1. P. 69–74.
- Degteva S. V. Classification of birch forests of subzones of the southern and middle taiga of the Komi Republic. I. Herbaceous birch forests (*Betula herbosa*), *Rastitel'nost' Rossii*. 2001. No. 2. P. 3–37.
- Kobak K. I. Biotic components of the carbon cycle. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 246 p.
- Melvin A. M., Michelle C. M., Johnstone J. F., McGuire A. D., Genet H., Schuur E. A. G. Differences in ecosystem carbon distribution and nutrient cycling linked to forest tree species composition in a mid-successional boreal forest, *Ecosystems*. 2015. No. 18. P. 1472–1488. DOI: 10.1007/s 1007-015-9912-7.
- Pristova T. A. Zagirova S. V. Manov A. V. Production of organic matter and carbon accumulation in the ground cover of spruce and birch phytocenoses in the foothills of the Subpolar Urals, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2018. No. 2. P. 53–61. DOI: 10. 25750/1995-4301-2018-2-053/2-061.
- Pristova T. A. Dynamics of the aboveground phytomass of the living ground cover in deciduous phytocenoses of post-cutting origin, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. T. 21, No. 2. P. 204–209.
- Zamolodchikov D. G. Utkin A. I. The system of conversion relations for calculating the net primary production of forest ecosystems by plantation stock, *Lesovedenie*. 2000. No. 6. P. 54–63.
- Zamolodchikov D. G. Systems for assessing and predicting carbon stocks in forest ecosystems, *Ustoychivoe lesopol'zovanie*. 2011. No. 4 (29). P. 15–22.



УДК УДК 630*561.24

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ТОПОЛЯ ДРОЖАЩЕГО В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РУССКОЙ РАВНИНЫ

РУМЯНЦЕВ
Денис Евгеньевич

доктор биол. наук, Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национально-исследовательского университета), dendro15@list.ru

ВОРОБЬЕВА
Наталья Сергеевна

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национально-исследовательского университета), vorobyeva@bmstu.ru

Ключевые слова:

осина
годовые кольца
радиальный прирост
дендрохронология
дендроэкология

Аннотация: Впервые составлены древесно-кольцевые хронологии осины (*Populus tremula* L.) из разных районов Русской равнины: Москва и Московская область, Калужская область, Тверская область, Республика Мордовия. Выполнен кластерный анализ сходства хронологий, корреляционный анализ сходства, апробирована ранее разработанная учеными Московского государственного университета леса технология идентификации географического происхождения древесины. Установленные закономерности могут лечь в основу формирования системы добровольной сертификации легальности заготовки древесины с использованием кластерных методов анализа дендрологических хронологий. Основным алгоритмом идентификации места происхождения древесины может стать учет коэффициента корреляции локальных участков индексирования хронологий. Само по себе значение этого показателя может быть любым, однако в выборке таких значений максимальное будет характеризовать образцы древесины, имеющие единую групповую принадлежность. Данная технология ранее была широко апробирована при идентификации места происхождения сосны и ели. В данном исследовании она подтверждена на материале хронологий осины, таким образом, можно говорить о том, что она носит достаточно общий характер и имеет широкие перспективы.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 22 мая 2022 года

Подписана к печати: 25 сентября 2022 года

Введение

Дендрохронологические исследования базируются прежде всего на анализе колебаний ширины годового кольца от года к году (Douglass, 1919; Fritts, 1976). При этом широко используются производные от ширины годового кольца показатели (Methods of dendrochronology..., 1992), могут применяться более детальные анализы анатомии годового кольца (Sweingruber, 1992; Ваганов, Терсков, 1977). Исследуя ширину годового кольца и производные от нее показатели,

редко учитывают, что с экофизиологической точки зрения в анализ включаются разные индикаторы в тех случаях, когда идет речь о растениях с разным типом формирования вторичной ксилемы (рассеяннососудистых, кольцесосудистых и хвойных). Годовые кольца растений этих групп сформированы разными анатомическими элементами в разной пропорции, для их формирования и функционирования необходимы разные затраты продуктов ассимиляции, и их линейные размеры априори имеют разный

биологический смысл. Специфика формирования радиального прироста у рассеянососудистых древесных пород остается наименее исследованным вопросом в связи с их худшей различимостью для глаз наблюдателя. Среди основных лесообразующих пород Русской равнины к рассеянососудистым породам относятся тополь дрожащий, береза повислая, береза пушистая, ольха серая, ольха черная, клен остролистный, липа мелколистная, вяз гладкий, вяз шершавый и некоторые другие.

Цель настоящей работы – анализ специфики изменчивости годовичного радиального прироста вторичной ксилемы у тополя дрожащего (*Populus tremula* L.) в отдельных районах Русской равнины и оценка возможности идентификации географического места происхождения древесины осины на основе дендрохронологической информации. Подобного рода исследования до настоящего времени не проводились. А они могут стать важной дополнительной компонентой нашей базы знаний экологии осиновых лесов, хотя об их конкретном значении уместно говорить только в будущем.

Осиновые леса наряду с лесами из березы являются преобладающей формацией, формирующейся после вырубki коренных хвойных лесов. Хозяйственное значение лесов осины растет в связи с ростом потребностей «зеленой энергетики» и необходимости выполнения лесами углероддепонирующей функции. Совершенствование технологий ведения хозяйства в осиновой секции лесов представляет собой актуальную задачу, требующую более глубокого познания экологии ростовых процессов у данного вида. Исследованию роста осины по данным радиального прироста посвящен заметный объем отечественных и зарубежных работ, который, однако, несопоставим с исследованиями, выполненными в хвойных и широколиственных лесах Русской равнины.

Русская равнина является частью Восточно-Европейской равнины. На большей части территории тектонические структуры, формирующие ее фундамент, глубоко погружены под мощные толщи осадочных пород разного возраста, залегающих горизонтально. Поэтому здесь преобладает равнинный

рельеф. Русская равнина подвержена воздействию воздушных масс, формирующихся над Атлантическим и Северным Ледовитым океанами. Атлантические воздушные массы приносят на ее территорию значительные количества осадков, создавая благоприятные условия для роста лесов. Количество осадков убывает с северо-запада на юго-восток. Также атлантические массы в течение всего года оказывают смягчающее влияние на климат. Зимой они приносят потепление вплоть до оттепелей, что хорошо выражено в западных районах. Арктический воздух зимой распространяется на всю территорию равнины, вплоть до крайнего юга. Он приносит с собой сухость и похолодание. Летом вторжение арктического воздуха сопровождается похолоданиями и засухами. Поочередное вторжение атлантических и арктических воздушных масс обуславливает неустойчивость погодных явлений и несхожесть сезонов разных лет. В целом климат на большей части Русской равнины умеренно-континентальный. Характерной особенностью Русской равнины является яркое проявление горизонтальной зональности.

Описанные выше факторы обуславливают отличие хронологий одного вида по дендрохронологическим показателям в разных частях ареала на территории Русской равнины. Осиновые леса распространены по всей территории равнины: от зоны северной тайги до зоны лесостепи. В настоящее время на территории Русской равнины в силу исторических причин наблюдается увеличение доли осиновых лесов (Рысин, 2006).

Материалы

Отбор образцов древесины проводился по стандартной методике, описанной и обоснованной в ряде работ (Румянцев, 2010; Матвеев, Румянцев, 2013; Румянцев, Черакшев, 2013). Измерения ширины годовичных колец велись с помощью прибора Lintab, для проверки правильности измерений использовалась перекрестная датировка в программе Tsap-Win (Пальчиков, Румянцев, 2010). Анализ данных выполнялся с использованием функций табличного процессора Microsoft Excel и программы STATISTICA 13.0. Характеристика использованных хронологий осины приведена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика используемых хронологий осины

Объект	Область	Число кернов, шт.	Год формирования первого годичного кольца в наиболее длинной хронологии / средняя длина хронологии, годы
Окрестности г. Пикалево	Архангельская	5	1996/19
Центрально-Лесной заповедник	Тверская	21	1909/76
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (древостой с гнилью)	Московская	20	1944/65
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (безгнилевой древостой)	Московская	16	1960/53
Валентиновский питомник МФ МГТУ	Московская	20	1973/33
Измайловский парк, г. Москва	Московская	12	1935/26
Терлецкий парк, г. Москва	Московская	12	1972/37
Памятник природы «Моренный холм Шатрищи»	Калужская	15	1944/54
Мордовский заповедник	Республика Мордовия	28	1934/77
Итого	Z	149	1909/49

Выбор объектов исследования был обусловлен рядом исходных соображений. Мордовский заповедник представляет собой северную границу между лесной и лесостепной зоной, здесь осина, относящаяся к группе мезофитов, должна демонстрировать сильную чувствительность камбиальной активности и продукционного процесса в целом по отношению к изменению засушливости климата от года к году. Древостой осины из окрестностей г. Пикалево Архангельской области на данном этапе исследований выполняет вспомогательную роль благодаря малому числу кернов и малой длине хронологий, но все же определенным образом дендрохронологически характеризует северную границу ареала осины.

Памятник природы регионального значения «Моренный холм "Шатрищи"» расположен в Износковском районе Калужской области. Здесь осина произрастает в условиях, близких к оптимальным для своей экологической ниши, однако своеобразный рельеф и геологическое строение объекта обуславливают специфику динамики радиального прироста данного древостоя. Центрально-

Лесной заповедник в Тверской области характеризует наиболее благоприятные условия для роста осины как древесной породы мезофита, аналогичные условия создаются для роста осины в условиях Молокчинского ботанико-энтомологического заказника, расположенного на северо-востоке Московской области. Мордовский заповедник расположен на границе лесной и лесостепной зон и дает характеристику особенностей роста осины на южной границе ареала. Терлецкий и Измайловский лесопарки, так же как и Валентиновский питомник, отражают особенности роста осины в условиях урбанизированной среды с выраженным трендом на антропогенно обусловленное увеличение среднегодовой температуры воздуха в последнее столетие.

Методы

Ширина годичного кольца, так же как и доля поздней древесины в годичном кольце, закономерно изменяется с возрастом. У деревьев, растущих на просторе, после не продолжительного увеличения ширины годичных колец в молодом возрасте прирост

достигает максимума и далее монотонно снижается по мере увеличения возраста (Cook, 1985). Этот негативный возрастной тренд частично обусловлен геометрическим эффектом, связанным с тем, что одна и та же площадь проводящей поверхности кольца с возрастом может быть достигнута при меньших значениях ширины годичного кольца в связи с увеличением радиуса ствола и соответственно длины его окружности. Другие факторы, вызывающие проявление данного тренда, – это снижение действующего на камбий в данной точке ствола эффекта апикального доминирования, увеличение расстояния транспорта питательных веществ, гормонов и влаги за счет перемещения кроны вверх по высоте ствола и лимитирование роста за счет истощения ресурсов местобитания (Cook, 1985). Также, безусловно, сказывается фактор наследственно детерминированных темпов роста. В результате кривая прироста несет в себе изменчивость, обусловленную факторами, которые независимы от межгодовых флуктуаций климата. Так как эта кривая тесно связана с увеличением возраста дерева, она получила название возрастного тренда.

Для того чтобы избавиться от возрастного тренда в хронологиях, традиционно применяют определенного рода индексацию (Ваганов и др., 1996; Fritts, 1976; Cook, 1985). Факт необходимости индексации в настоящее время у серьезных исследователей возражений не вызывает. Однако зачастую ведутся бурные дискуссии о корректной форме индексации рядов радиального прироста.

Согласно характеристике, данной Фритцем (Fritts, 1976), индексирование путем нахождения отклонений значения прироста от скользящей средней ценно тем, что не требует биологического основания в выборе функций роста и обеспечивает неспецифическое удаление эффектов воздействия долговременных факторов различной природы. Индекс радиального прироста, таким образом, кроме отдельно оговоренных случаев рассчитывается нами по формуле:

$$I_t = W_t / Y_t,$$

где W_t – ширина годичного кольца в год t ,

Y_t – средняя ширина годичного кольца за пять лет для года t .

Индексированные хронологии подвергались нами процедуре кластерного анализа в программе STATISTICA 13.0. Целью кластерного анализа является разбиение множества исследуемых объектов и признаков на

однородные в некотором смысле группы, или кластеры (Халафян, 2008). Задача кластерного анализа заключается в том, чтобы на основании данных, содержащихся во множестве X , разбить множество объектов G на m (m -целое) кластеров $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$ так, чтобы каждый объект G_j принадлежал одному и только одному подмножеству разбиения. При этом объекты, принадлежащие одному и тому же кластеру, должны быть сходными, а объекты, принадлежащие разным кластерам, – разнородными.

Решением задачи кластерного анализа являются разбиения, удовлетворяющие критерию оптимальности. Сходство между объектами при кластерном анализе определяется через понятие расстояния между векторами измерений X_i, X_j . Чем меньше расстояние между объектами, тем выше их сходство.

Наиболее часто используемым вариантом оценки расстояния между объектами является «евклидово расстояние» (euclidean distances), вычисляемое по формуле:

$$D_e(X_i, X_j) = (\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2)^{1/2}.$$

Евклидово расстояние – это геометрическое расстояние в многомерном пространстве. Если при анализе имеет смысл придать большие веса более отдаленным друг от друга объектам, то используют такой показатель, как «квадрат евклидова расстояния» (square euclidean distances).

По итогам расчета расстояния между объектами производится объединение их в однородные группы. Принцип работы иерархических (создающих древовидные структуры) процедур состоит в последовательном объединении (разделении) групп элементов – сначала самых близких (далеких), а затем все более отдаленных (близких) друг от друга. Большинство из этих алгоритмов исходит из матрицы расстояний (сходства).

Общий принцип работы агломеративного алгоритма следующий. На первом шаге каждое наблюдение G_i ($i = 1, 2, \dots, n$) рассматривается как отдельный кластер. В дальнейшем на каждом шаге работы алгоритма происходит объединение двух самых близких кластеров, и, с учетом принятого расстояния, по формуле пересчитывается матрица расстояний, размерность которой снижается на единицу. Работа алгоритма заканчивается, когда все наблюдения объединены в один класс. Полученная классификация представляется графически в виде дендрограммы.

Программа STATISTICA 13.0 предусматри-

валяет возможность использования различных правил иерархического объединения объектов в кластеры. Предыдущий опыт показал, что при кластерном анализе дендрохронологической информации эффективно использовать правило «полных связей». Это дает хорошо интерпретируемые с биологической точки зрения результаты, в т. ч. и при идентификации географического положения древесины. Согласно правилу «полных связей» (complete linkage) два объекта, принадлежащие к одной и той же группе (кластеру), имеют коэффициент сходства, который меньше некоторого порогового значения S . Другими словами, расстояние между двумя точками (объектами) кластера не должно превышать некоторого порогового значения d . Таким образом, d определяет максимально допустимый диаметр подмножества, образующего кластер. Этот метод называют методом наиболее удаленных соседей, т. к. при достаточно большом пороговом значении d расстояние между кластерами определяется наибольшим расстоянием между любыми двумя объектами в различных кластерах.

Выполненные расчеты имели целью получение информации о соответствии между географическим положением древостоя осины и делением группы хронологий на кластеры по признаку сходства кратковременно обусловленной (климатической) компоненты изменчивости радиального прироста.

Еще одним этапом работы была апробация методики идентификации места происхождения древесины на основе корреляционного анализа и учета рангового соответствия значений коэффициентов корреляции. Данная методика была разработана в МГУ леса в 2008–2011 гг. в рамках выполнения НИОКР Рослесхоза (Lipatkin, Rumyantsev, 2016). Суть ее заключается в следующем.

Согласно действующим методикам МВД (Розанов, 1969; Методические..., 1972) идентификация принадлежности пня и ствола организму одного дерева устанавливается на основе пороговых значений коэффициента корреляции. Как ранее показала практика апробации работы системы на обширном материале базы дендрохронологических данных по сосне и ели, не может быть установлен порог значений коэффициентов сходства, в связи с которым может быть диагностирована единая групповая принадлежность стволов деревьев (= установление места произрастания = установление цено-

популяционной принадлежности). Ценопопуляционные нормы этого сходства в настоящее время неизвестны. Для того чтобы их установить, необходимы исследования для разных древесных пород, произрастающих в разных типах леса, в древостоях разного состава для разных географических районов. Теоретической основой данного направления исследований должно стать представление о разном типе пространственной генетической структуры древостоев. Одним из вариантов апробации стало испытание технологии идентификации места происхождения древесины на основе хронологий из древостоев осины разного географического происхождения.

Таким образом, установление пороговых «отсекающих» значений коэффициентов сходства в рамках технологии идентификации ценопопуляционной принадлежности срубленной древесины в настоящий момент времени невозможно. Поэтому технология должна ориентироваться на максимальные значения сходства между эталонной и тестируемой хронологией. Априорно ясно, что сходство между тестируемой и «родной» эталонной хронологией по каждому из отдельных параметров стремится к максимуму. Точность подобного рода технологии сильнее зависит от объема выборки использованной для построения тестовой хронологии, также точность идентификации возрастает при сравнительном сопоставлении сходства между эталонной и тестируемой хронологией по ряду параметров.

Результаты

На основании индивидуальных древесно-кольцевых хронологий были построены средние хронологии по ширине годичного кольца, характеризующие динамику радиального прироста в древостое каждого конкретного объекта. Графики, их представляющие, отражены на рис. 1.

Анализируя графики, легко выделить их отличие по средней ширине годичного кольца, при этом более молодые древостои (более короткие хронологии) дают большие величины радиального прироста. Так, древостой осины из окрестностей Пикалево (Архангельская область) несмотря на свое крайне северное происхождение превосходит по ширине годичного кольца ряд более старых древостоев, расположенных южнее. С возрастом величина прироста постепенно снижается, что является отражением хорошо известного в дендрохронологии возрастного

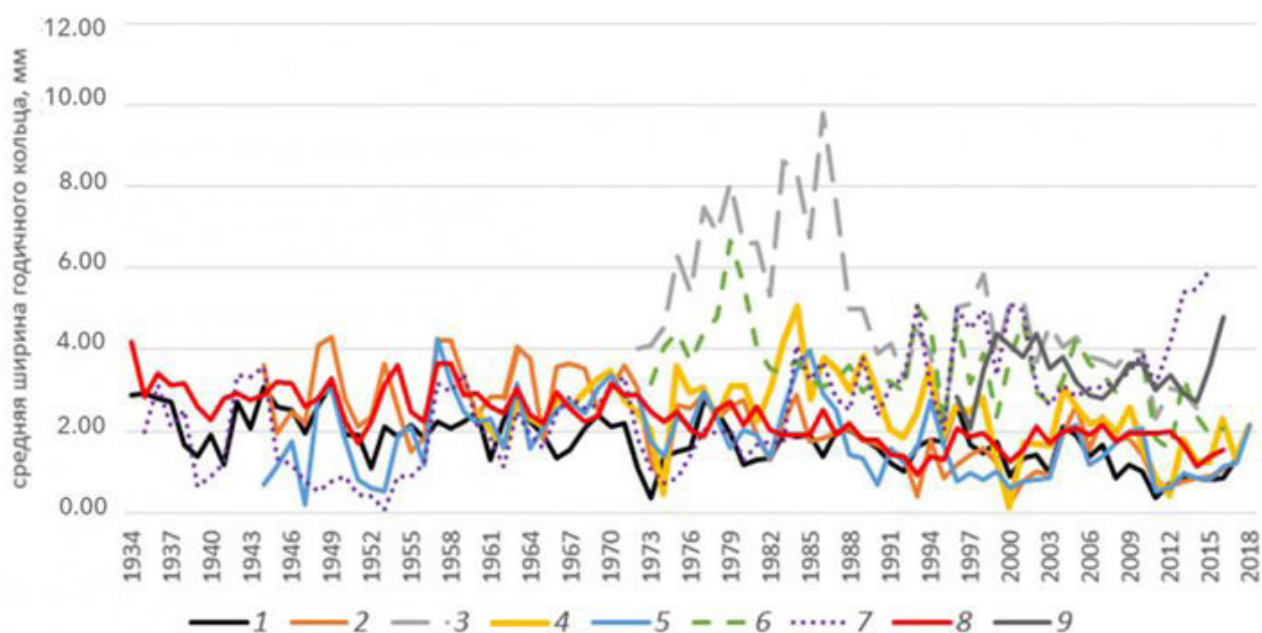


Рис. 1. Динамика радиального прироста в древостоях осины на разных объектах. 1 – Мордовский заповедник; 2 – Молокчинский заказник, древостой с гнилью; 3 – Терлецкий лесопарк; 4 – Молокчинский заказник, древостой без гнили; 5 – Моренный холм «Шатрищи»; 6 – Валентиновский питомник; 7 – Измайловский лесопарк; 8 – Центрально-Лесной заповедник; 9 – Пикалево

Fig. 1. Dynamics of radial growth in aspen stands at different sites. 1 – Mordovian Nature Reserve; 2 – Molokchinsky Nature Reserve, stand with rot; 3 – Terletsky Forest Park; 4 – Molokchinsky Nature Reserve, stand without rot; 5 – Shatrishchi Moraine Hill; 6 – Valentinovsky Nursery; 7 – Izmailovsky Forest Park; 8 – Central Forest Reserve; 9 – Pikalevo

тренда изменчивости годовых колец (Cook, 1985). Ширина годичного кольца сильно варьирует от года к году, что обусловлено разницей погодных условий в разные вегетационные сезоны, а также в течении месяцев так называемого зимнего покоя, предшествующих началу вегетации.

Каждая индивидуальная хронология по ширине годичного кольца была индексирована и на основании индексированных хронологий была рассчитана средняя для каждого древостоя индексированная хронология. Результаты отражают графики на рис. 2.

Индексированные хронологии подверглись кластерному анализу на основе расчета квадрата евклидова расстояния и были объединены в группу по правилу полных связей. Результаты расчетов отражает кладиограмма на рис. 3.

В итоге кластерный анализ дал вполне хорошо биологически интерпретируемые результаты (см. рис. 3). Расположенные по близости объекты сформировали четко выраженные отдельные кластеры. В один кластер оказались объединены хронологии из одного объекта – Молокчинского заказника.

Еще один кластер сформировали хронологии из урбанизированных объектов Москвы и Московской области: Валентиновский питомник, Терлецкий лесопарк, Измайловский лесопарк. В целом один большой кластер сформировали хронологии древостоев из особо охраняемых природных территорий: Молокчинский заказник, Центрально-Лесной заповедник, Мордовский заповедник. Совершенно особое положение по динамике радиального прироста на кладиограмме занимает хронология осины с моренного холма «Шатрищи», что обусловлено крайне специфичным геологическим строением объекта.

Для апробации ранее сформированной технологии идентификации места срубленной древесины пригодны составляющие географически близко расположенных пар хронологий: хронологии из Молокчинского заказника и хронологии из Терлецкого и Измайловского лесопарков г. Москвы, входящих в единую административную единицу Мосприроды. Результаты апробации отражают данные табл. 2 и 3. Сравним происхождение древесины, от которой получены дендрохро-

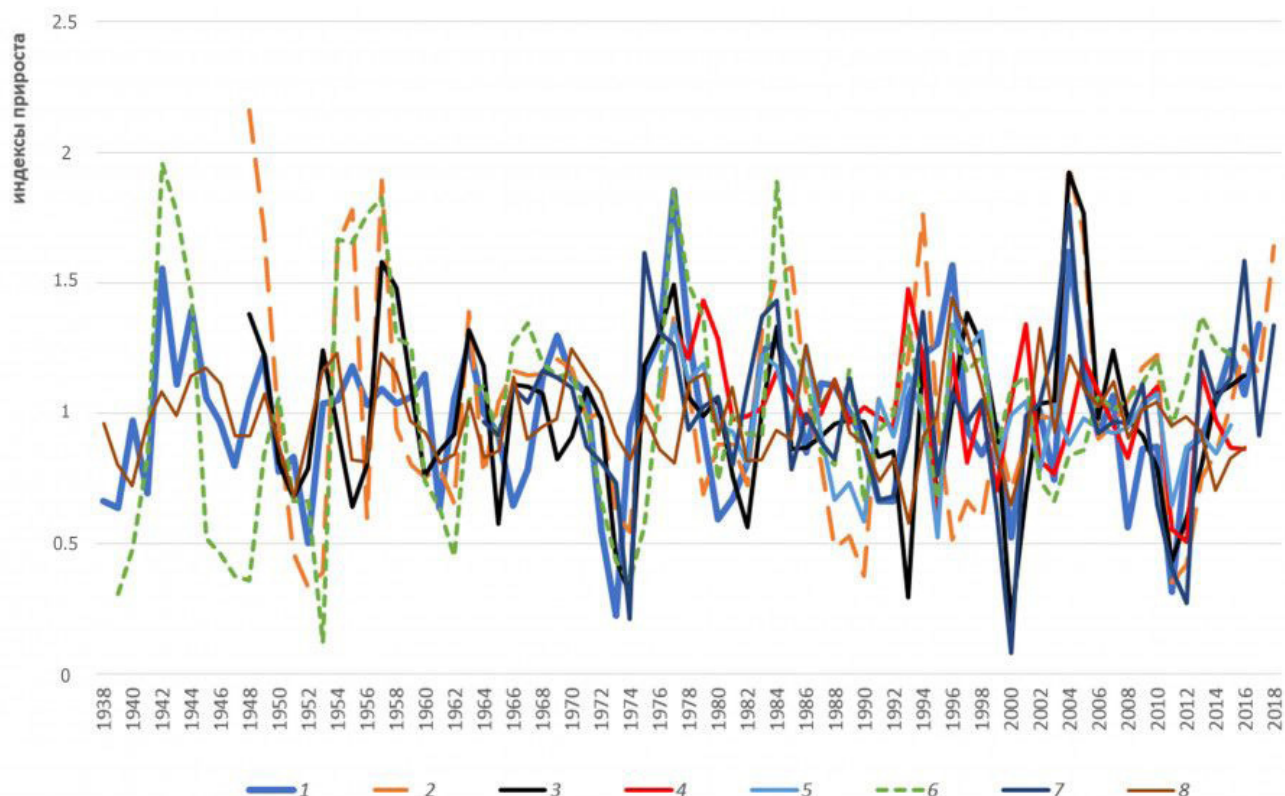


Рис. 2. Динамика индексов радиального прироста для исследуемых древостоев осины. 1 – Мордовский заповедник; 2 – Молокчинский заказник, древостой с гнилью; 3 – Терлецкий лесопарк; 4 – Молокчинский заказник, древостой без гнили; 5 – Моренный холм «Шатрищи»; 6 – Валентиновский питомник; 7 – Измайловский лесопарк; 8 – Центрально-Лесной заповедник

Fig. 2. Dynamics of radial growth indices for the studied aspen stands. 1 – Mordovian Nature Reserve; 2 – Molokchinsky Nature Reserve, stand with rot; 3 – Terletsky Forest Park; 4 – Molokchinsky Nature Reserve, stand without rot; 5 – Shatrishchi Moraine Hill; 6 – Valentinovsky Nursery; 7 – Izmailovsky Forest Park; 8 – Central Forest Reserve

ронологические образцы под кодовыми названиями «Молокчинский заказник, древостой с гнилью» и «Терлецкий лесопарк».

Подводя итог расчетам (табл. 2, 3), следует отметить, что принципы работы технологии идентификации древесины, разработанные для древостоев ели и сосны, подтверждаются на материале древостоев осины, что говорит об общем характере открытой закономерности и ее высокой практической значимости. Конкретное значение коэффициента корреляции является плохим идентификационным маркером, оно может варьировать для хронологий из двух расположенных поблизости древостоев. Однако в ранжированном ряду из коэффициентов корреляции, рассчитанных для хронологии из отдельно сформированной базы данных, хронологии из двух древостоев, расположенных поблизости, дают максимальное значение из всех наблюдаемых.

Обсуждение

Полученные в нашем исследовании данные подтверждают возможность создания эффективной системы добровольной сертификации срубленной древесины, в т. ч. и для рассеяннососудистых пород. Ранее возможность создания такой системы для идентификации места происхождения древесины хвойных пород уже обсуждалась (Румянцев, 2017; Lipatkin, Rummyantsev, 2017). В ее основе должна лежать периодическая выборочная обязательная поверка декларируемого места происхождения транспортируемой древесины. Для проведения такого рода проверки потребуется выезд группы специалистов на декларируемое место происхождения древесины с целью сбора образцов для построения эталонной хронологии. Обладая небольшой базой данных для сравнительного дендрохронологического анализа, будет достаточно легко подтвердить верность (либо неверность) декларируемого места происхождения срубленной древесины. Ле-

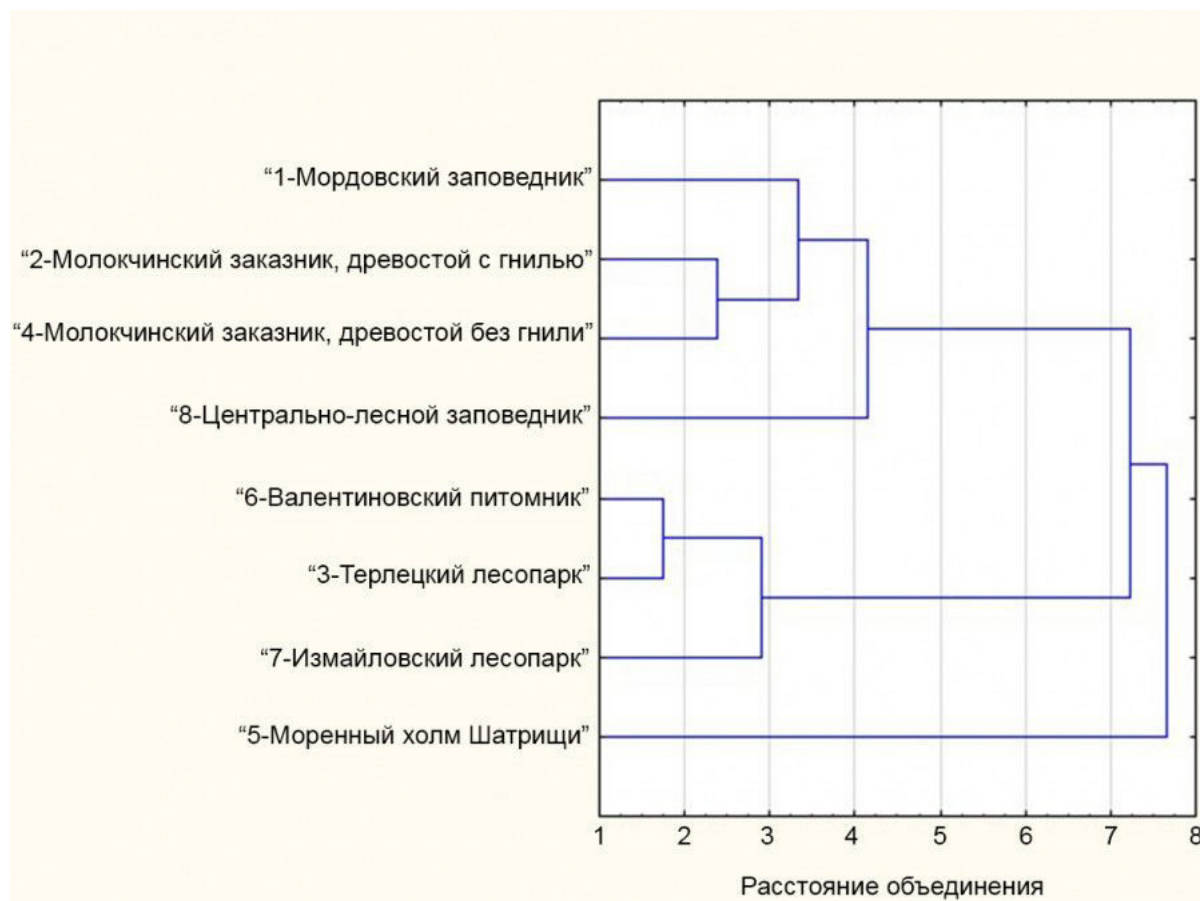


Рис. 3. Результаты кластерного анализа индексированных древесно-кольцевых хронологий осины
Fig. 3. Results of cluster analysis of indexed tree-ring chronologies of aspen

Таблица 2. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, позволяющий идентифицировать происхождение древесины осины из Молокчинского заказника

Хронологии базы данных	Молокчинский заказник, древостой с гнилью
Молокчинский заказник, древостой с гнилью	1.00
Молокчинский заказник, древостой без гнили	0.71
Мордовский заповедник	0.59
Моренный холм «Шатрищи»	0.51
Центрально-Лесной заповедник	0.44
Терлецкий лесопарк	0.26
Валентиновский питомник	0.14
Измайловский лесопарк	0.10

созаготовитель, заявляющий о легальности заготовки древесины и желающий получить соответствующий сертификат, должен быть готов к проведению внеплановых дендрохронологических экспертиз в цепочке своих поставок с целью проверки предоставленной информации.

Заключение

Таким образом, динамика временных рядов осины на территории Русской равнины отличается географически обусловленной спецификой. Анализ этой специфики обеспечивает возможность идентификации географической близости древостоев осины

Таблица 3. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, позволяющий идентифицировать происхождение древесины осины из Терлецкого лесопарка

Хронологии базы данных	Терлецкий лесопарк
Терлецкий лесопарк	1.00
Измайловский лесопарк	0.61
Валентиновский питомник	0.51
Молокчинский заказник, древостой без гнили	0.28
Мордовский заповедник	0.28
Моренный холм «Шатрищи»	0.27
Молокчинский заказник, древостой с гнилью	0.26
Центрально-Лесной заповедник	0.16

(определение географического происхождения срубленной древесины), а также экологической специфики условий роста на объектах. Для подобного рода идентификации пригодны процедура кластерного анализа на основе расчета квадрата евклидова расстояния и объединение в группу по правилу полных связей. Также эффективен анализ

распределения в ранжированном ряду коэффициентов корреляции, полученных для тестовой хронологии и эталонными хронологиями базы данных. Установленные закономерности могут быть положены в основу разработки добровольной системы сертификации легальности происхождения древесины.

Библиография

- Ваганов Е. А., Терсков А. И. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 94 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 245 с.
- Матвеев С. М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология. Воронеж: ВГЛУ, 2013. 140 с.
- Методические рекомендации по криминалистической экспертизе объектов растительного происхождения / Отв. ред. М. И. Розанов. М.: ВНИИСЭ, 1972. 21 с.
- Пальчиков С. Б., Румянцев Д. Е. Современное оборудование для дендрохронологических исследований // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010. № 3 (72). С. 46–51.
- Румянцев Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 109 с.
- Румянцев Д. Е. Дендрохронологические экспертизы в лесном хозяйстве // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2017. № 2 (20). С. 111–114.
- Румянцев Д. Е., Черашев А. В. Дендроклиматическая диагностика состояния сосен секции Strobi в условиях дендрологического сада МГУЛ // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 7 (99). С. 121–127.
- Розанов М. И. Теоретические основы идентификации целого по частям: Дис. ... канд. юрид. наук. М.: ЦНИИИСЭ, 1969. 320 с.
- Рысин Л. П. Исторический фактор в современной сукцессионной динамике лесов центра Русской равнины // Лесоведение. 2006. № 6. С. 3–11.
- Халафян А. А. STATISTICA Статистический анализ данных. М.: БИНОМ, 2008. 508 с.
- Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919. 127 p.
- Cook E. R. A time series analysis approach to tree ring standartization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985. 171 p.
- Lipatkin V. A., Rumyantsev D. E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8, № 2. P. 2089–2092.
- Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences / E. Cook and L. Kairiukstis auditors. Kluwer Academic Publishers, 1992. 408 p.
- Schweingruber F. H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern; Stuttgart; Vienna; Haupt, 1996. 609 p.
- Fritts H. C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 576 p.

GEOGRAPHICAL FEATURES OF THE DYNAMICS OF RADIAL GROWTH OF ASPEN IN CERTAIN REGIONS OF THE RUSSIAN PLAIN

RUMYANTSEV
Denis Evgenievich

D.Sc., Mytischki Branch of Bauman State Technical University (National Research University), dendro15@list.ru

VOROBYEVA
Natalya Sergeevna

Mytischki Branch of Bauman State Technical University (National Research University), vorobyeva@bmstu.ru

Keywords:

aspen
annual rings
radial growth
dendrochronology
dendroecology

Summary: For the first time, tree-ring chronologies of aspen (*Populus tremula* L.) from different regions of the Russian Plain were compiled: Moscow and the Moscow Region, Kaluga Region, Tver Region, the Republic of Mordovia. Cluster analysis of the chronology similarity, correlation analysis of similarity was performed, as well as the technology of identifying the geographical origin of wood previously developed by scientists of the Moscow State University of Forest was tested. The established patterns can form the basis for the formation of a system of voluntary certification of the legality of wood harvesting using cluster methods of analysis of dendrological chronologies. The main algorithm for identifying the place of origin of wood can be taking into account the correlation coefficient of local sites of indexing chronologies. By itself, the value of this indicator can be any, but in the sample of such values, the maximum will characterize wood samples that have a single group affiliation. This technology has previously been widely tested in identifying the place of origin of pine and spruce. In this study, it is confirmed by the material of the chronologies of aspen and thus we can say that it is quite general and has broad prospects.

Received on: 22 May 2022

Published on: 25 September 2022

References

- Cook E. R. A time series analysis approach to tree ring standardization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985. 171 p.
- Douglas A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919. 127 p.
- Fritts H. C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 576 p.
- Halafyan A. A. STATISTICA Statistical data analysis. M.: BINOM, 2008. 508 p.
- Lipatkin V. A., Rumyantsev D. E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8, No. 2. P. 2089–2092.
- Matveev S. M., Rumyantsev D. E. Dendrochronology. Voronezh: VGLTU, 2013. 140 p.
- Methodological recommendations for the forensic examination of objects of plant origin, Otv. red. M. I. Rozanov. M.: VNIIE, 1972. 21 p.
- Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences, E. Cook and L. Kairiukstis auditors. Kluwer Academic Publishers, 1992. 408 p.
- Pal'chikov S. B., Rumyantsev D. E. Modern equipment for dendrochronological research, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2010. No. 3 (72). P. 46–51.
- Rozanov M. I. Theoretical foundations of the identification of the whole by parts: Dip. ... kand. yurid. nauk. M.: CNIIE, 1969. 320 p.
- Rumyantsev D. E., Cherakshv A. V. Dendroclimatic diagnostics of the condition of the *Strobus* section pines in the conditions of the MSFU arboretum, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2013. No. 7 (99). P. 121–127.
- Rumyantsev D. E. Dendrochronological expertise in forestry, Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. 2017. No. 2 (20). P. 111–114.
- Rumyantsev D. E. History and methodology of forestry dendrochronology. M.: GOU VPO MGUL, 2010. 109 p.
- Rysin L. P. Historical factor in the modern succession dynamics of forests of the center of the Russian Plain,

Lesovedenie. 2006. No. 6. P. 3–11.

Schweingruber F. H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern; Stuttgart; Vienna; Haupt, 1996. 609 p.

Vaganov E. A. Shiyatov S. G. Mazepa V. S. Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk: Nauka, 1996. 245 p.

Vaganov E. A. Terskov A. I. Analysis of tree growth by the structure of annual rings. Novosibirsk: Nauka, 1977. 94 p.



УДК 57.044; 504.054; 631.4

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ БЕНЗ[А]ПИРЕНОМ

СКУГОРЕВА

Светлана Геннадьевна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми НЦ
УрО РАН, skugoreva@mail.ru

ДОМРАЧЕВА

Людмила Ивановна

доктор биологических наук, Вятский государственный агротех-
нологический университет, dli-alga@mail.ru

КУТЯВИНА

Татьяна Игоревна

кандидат биологических наук, Вятский государственный уни-
верситет, kutyavinati@gmail.com

АБДУХАЛЛИЛОВ

Олим Мусурмон угли

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,
alimbay.1998@mail.ru

ЗАБУБЕНИНА

Юлия Сергеевна

Вятский государственный агротехнологический университет,
candyman30@mail.ru

АШИХМИНА

Тамара Яковлевна

доктор технических наук, Вятский государственный универ-
ситет, usr08619@vyatsu.ru

Ключевые слова:

полициклические
ароматические
углеводороды
бенз[а]пирен
токсичность
кресс-салат
почвенные
микроорганизмы
биотестирование

Аннотация: Проведен модельный эксперимент по оценке токсично-
сти дерново-подзолистой почвы, искусственно загрязненной бенз[а]
пиреном (БП) в дозах 10 и 20 ПДК. Установлено, что снижение нако-
пления биомассы корнями растений кресс-салата начинает проявлять-
ся только при содержании БП 20 ПДК. Внесение в почву БП приводит
к увеличению содержания малонового диальдегида в побегах расте-
ний, что свидетельствует об интенсификации процессов перекисного
окисления липидов в условиях окислительного стресса. В присутствии
БП показана неоднозначность размножения почвенных микрооргани-
змов. Самой чувствительной группой к данному поллютанту оказались
аммонификаторы, которые можно считать индикаторной группой ор-
ганизмов на загрязнение почвы БП. Чувствительной по отношению к
БП проявила себя и бактериальная тест-система «Эколюм». Таким об-
разом, почва, загрязненная 20 ПДК БП, является токсичной для таких
групп почвенных микроорганизмов, как аммонификаторы и азотфикса-
торы, для проростков кресс-салата и тест-системы «Эколюм».

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 06 июля 2022 года

Подписана к печати: 05 октября 2022 года

Введение

Полициклические ароматические углево-
дороды (ПАУ) относятся к высоко опасным
для человека поллютантам (Ifegwu, Anyakora,
2015). Они образуются при сжигании и пере-
работке нефтепродуктов, угля, древесины,

бытовых отходов и др. Чаще всего показа-
телем присутствия ПАУ в окружающей сре-
де служит бенз[а]пирен (БП). Он является
канцерогеном, мутагеном, токсикантом 1-го
класса опасности. Предельно допустимая
концентрация (ПДК) БП в почве составляет
20 нг/г (СанПин 1.2.3685-21), для растений

ПДК БП и других ПАУ не установлены.

Растения способны поглощать, аккумулировать, синтезировать и участвовать в деградации ПАУ (Яковлева, Габов, 2019). При действии поллютантов у растений возникает неспецифическая ответная реакция – окислительный стресс. Перекисное окисление липидов (ПОЛ) – цепной процесс свободно-радикального окисления, в ходе которого изменяется структура биомолекул, происходит инактивация ферментов, образуются дефекты в липидном слое мембран. В результате ПОЛ образуется малоновый диальдегид (МДА).

Ранее (Абдухалилов, Скугорева, 2019) нами было показано, что БП в дозе 10 ПДК приводил к усилению процессов ПОЛ и снижению накопления фотосинтетических пигментов у 15-суточных растений ячменя при выращивании на гидропонике. В работе (Яковлева и др., 2015) выявлено, что загрязнение песчаного субстрата 0.5–2 ПДК БП приводило к уменьшению всхожести семян до 80 %, снижению высоты и биомассы 30-суточных растений ячменя до 3.6 раза. При внесении в почву 2 ПДК БП наблюдали ростстимулирующий эффект: усиление накопления биомассы проростками, увеличение длины корня, снижение интенсивности ПОЛ в побегах проростков полевого гороха (Скугорева и др., 2021а). В ризосфере растений отмечается высокая активность микроорганизмов, способных использовать ПАУ в качестве единственного источника углерода и энергии (Gałązka, Grządziel, 2016). Известно, что в результате загрязнения ПАУ значительно изменяется структура почвенных бактериальных сообществ (Ажогина и др., 2020). Повышенное содержание ПАУ в городских почвах, особенно вблизи автодорог, может приводить к изменению в структуре микробных комплексов (Скугорева и др., 2021б). В модельном опыте внесение 1 и 2 ПДК БП приводило к снижению численности почвенных микроорганизмов (Скугорева и др., 2021а).

Целью работы было оценить токсичность почвы, загрязненной бенз[а]пиреном, по влиянию на проростки кресс-салата, почвенную микробиоту, простейших *Paramecium caudatum* и бактериальную тест-систему «Эколюм».

Материалы

Модельный эксперимент выполняли с использованием почвы, отобранной с агроучастка на территории Кирово-Чепецкого

района Кировской области, на которой преобладают дерново-подзолистые почвы. Отбор почвы проводили из верхнего слоя (0–15 см). Почва имела нейтральную (pH_{H_2O} 6.5 ± 0.1) или близкую к нейтральной реакцию (pH_{KCl} 5.6 ± 0.1). Содержание органического вещества составило 1.20 ± 0.20 %, что характеризует почву как малогумусную. Обеспеченность почвы нитратным азотом для растений низкая (2.60 ± 0.30 мг NO_3^- /кг); фосфором (72.6 ± 3.5 мг P_2O_5 /кг) и калием (81 ± 12 мг K_2O /кг) – средняя. Концентрация БП в почве была ниже предела обнаружения метода высокочувствительной жидкостной хроматографии (МУК 4.1.1274-03..., 2003).

Методы

Предварительно почву подсушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с размером ячейки 1 мм. В чашки Петри насыпали почву массой 40.0 г. Бенз[а]пирен вносили в дозах 0.2 и 0.4 мкг/г почвы, что соответствовало 10 и 20 ПДК БП, в виде водного раствора, приготовленного из ГСО БП (7515-98 МСО 0184:2000). Контрольный вариант – без внесения БП. Повторность в опыте трехкратная. После внесения в почву БП проводили посев семян кресс-салата по 30 шт. на чашку Петри. Затем чашки помещали в климатическую камеру, где осуществляли контроль фотопериода: день (12 ч) / ночь (12 ч). Температура на протяжении всего опыта составляла 20 ± 2 °С. Полив растений осуществляли регулярно дистиллированной водой из расчета 60 % от полной влагоемкости почвы. Эксперимент длился 10 суток.

На 8-е сутки от момента посадки определяли всхожесть семян (ГОСТ 12038-84). После окончания опыта (на 11-е сутки) растения извлекали из почвы, измеряли высоту побега и длину корня, а также их сырую биомассу. Содержание МДА определяли в побегах проростков в трехкратной повторности. Накопление МДА – спектрофотометрическим методом ($\lambda = 532$ нм) по окраске вытяжки из свежих растительных тканей после 30 мин кипячения на водяной бане с 0.5 % раствором тиобарбитуровой кислоты в 20 % трихлоруксусной кислоте (Лукаткин, Голованова, 1988).

Численность микроорганизмов в почве высчитывали методом предельных разведений на селективных питательных средах в трехкратной повторности: аммонификаторы (ГРМ-агар), азотфиксаторы (среда Эшби) и грибы (среда Чапека).

Острую токсичность проб почв определяли с использованием бактериальной тест-системы «Эколюм» и простейших *Paramecium caudatum*. Первый метод основан на измерении интенсивности биолюминесценции препарата лиофилизированных бактерий *Escherichia coli*. Подготовку и тестирование проб почвы проводили в соответствии с методикой ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04, Т 16.1:2.3:3.8-04. Методика предполагает три пороговых уровня индекса токсичности (T): 1) допустимая степень токсичности образца при $T < 20$; 2) образец токсичен при $20 \leq T < 50$; 3) образец сильно токсичен при $T \geq 50$. Второй метод основан на хемотаксической реакции инфузорий *P. caudatum*. Согласно ФР.1.39.2015.19243, количественная оценка токсичности выражается в виде индекса токсичности (T), по величине которого

анализируемые пробы делятся на три группы: I) допустимая степень токсичности ($0.00 < T \leq 0.40$); II) умеренная степень токсичности ($0.41 < T \leq 0.70$); III) высокая степень токсичности ($T > 0.71$).

В таблицах приведены средние арифметические значения и ошибки средних. Достоверность расхождений средних арифметических значений с контролем устанавливали при помощи t -критерия Стьюдента.

Результаты

В ходе исследования установлено, что в присутствии БП в почве в дозах 10 и 20 ПДК всхожесть семян кресс-салата составила 94.4 и 93.3 %, что практически не отличалось от значения в контроле (94.4 %). Внесение БП в почву не оказывало влияния на ростовые параметры проростков кресс-салата: длину корня и высоту побега (рис. 1).

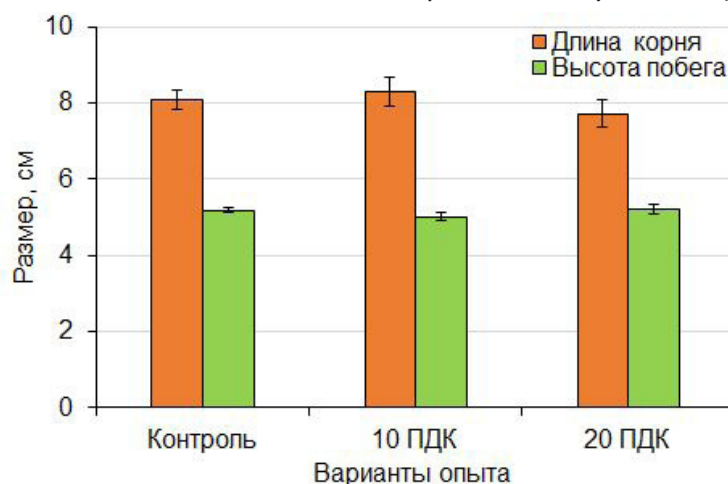


Рис. 1. Ростовые параметры проростков кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена

Fig. 1. Growth parameters of garden cress seedlings when various doses of benz[a]pyrene are introduced into the soil

Кроме линейных параметров, у растений измеряли биомассу (рис. 2). Выявлено, что в варианте опыта с дозой 20 ПДК БП происходило достоверное снижение накопления сырой биомассы корнями. Значение сырой биомассы корней в данном варианте составило 10.0 ± 0.8 мг на одно растение, что в 1.47 раза ниже значения для растений в контроле (14.7 ± 0.7 мг / растение).

Наиболее чувствительным параметром к действию БП оказалось накопление МДА растениями кресс-салата. Внесение в почву данного ПАУ в дозах 10 и 20 ПДК приводило к увеличению содержания МДА в побегах растений в 1.69 и 1.60 раза по сравнению с контролем соответственно (рис. 3).

Результаты количественного учета микроорганизмов в почве приведены в табл. 1. Вы-

явлено угнетающее действие БП на численность гнилостных бактерий (аммонификаторов): в 1.92 раза по сравнению с контролем при 10 ПДК и в 5.33 раза при 20 ПДК.

Для группы азотфиксаторов концентрация БП 10 ПДК оказала стимулирующее действие в 2.95 раза и угнетающее действие в 2.23 раза при концентрации 20 ПДК. Бенз[а]пирен в дозе 10 ПДК неожиданно приводил к активизации размножения микромицетов в 4.54 раза по сравнению с контролем, а при 20 ПДК угнетающее действие не проявилось.

Изучение структуры популяции (табл. 2) выявило доминирование аммонификаторов в контроле и азотфиксаторов – в вариантах с БП. Во всех вариантах минорным компонентом микробиоты являются грибы, чья доля в структуре популяции тем не менее

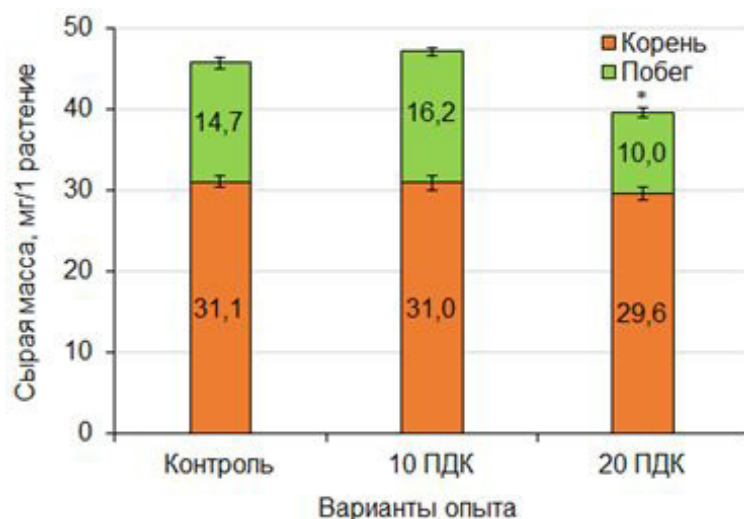


Рис. 2. Биомасса проростков кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена. * – различия с контролем достоверны при $p < 0.05$

Fig. 2. Biomass of garden cress seedlings after application of various doses of benz[a]pyrene to the soil. * – differences with the controls are significant at $p < 0.05$

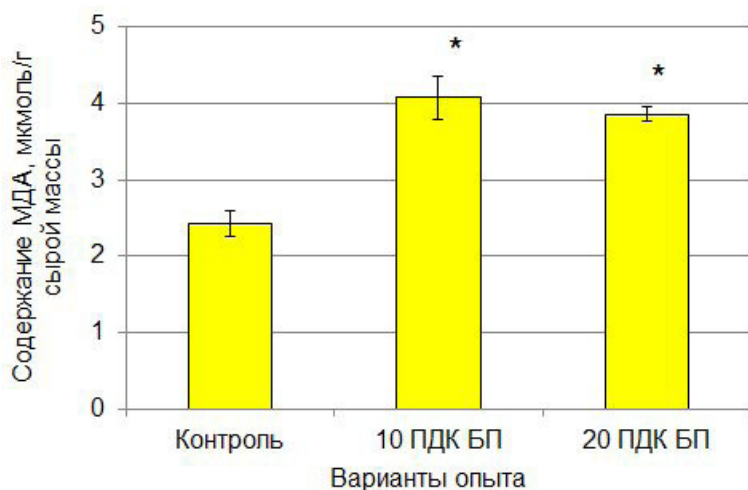


Рис. 3. Накопление МДА в побегах растений кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена. * – различия с контролем достоверны при $p < 0.01$

Fig. 3. Accumulation of MDA in shoots of garden cress plants when various doses of benz[a]pyrene are introduced into the soil. * – differences with the controls are significant at $p < 0.01$

Таблица 1. Влияние бенз[а]пирена на численность почвенной микробиоты ($\cdot 10^3$ КОЕ / г сухой почвы)

Вариант	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Грибы	Всего
Контроль	160 ± 35	120 ± 13	4.3 ± 0.5	284 ± 48
10 ПДК БП	83 ± 6	353 ± 17**	19.5 ± 2.1**	456 ± 24*
20 ПДК БП	30 ± 7*	54 ± 8*	4.7 ± 0.5	88 ± 16*

Примечание. Различия с контролем достоверны при * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

увеличивается по мере возрастания концентрации БП с 1.6 (контроль) до 5.4 % (20 ПДК БП). Увеличение вклада аммонификаторов в структуру популяции микроорганизмов с

18.3 (10 ПДК) до 33.9 % (20 ПДК) связано не с возрастанием их численности, а с резким сокращением численности азотфиксаторов в этих вариантах.

Таблица 2. Структура популяции почвенной микробиоты, (%)

Вариант	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Грибы
Контроль	56.3	42.1	1.6
10 ПДК БП	18.3	77.4	4.3
20 ПДК БП	33.9	60.7	5.4

В табл. 3 представлены значения индексов токсичности (T), определенные по реакции простейших *P. caudatum* и бактерий *E. coli* (тест-система «Эколюм») на почву без внесения и с внесением БП. Отмечено, что внесение БП в концентрации 10 ПДК не оказывает острого токсического действия на используемые биотесты. Значения T для контрольного образца и образца 10 ПДК БП совпадают.

Почва с содержанием 20 ПДК БП оказывает токсическое действие на тест-систему «Эколюм». Индекс токсичности, определенный по реакции *P. caudatum*, для варианта опыта при дозе 20 ПДК БП был в 1.8 раза выше, чем для контрольного варианта и 10 ПДК БП, но не превышал значений для допустимой степени токсичности ($T < 0.40$).

Таблица 3. Результаты определения острой токсичности образцов почв, загрязненных бенз[а]пиреном, по реакции простейших *Paramecium caudatum* и бактериальной тест-системы «Эколюм»

Вариант	Индекс токсичности (T), степень токсичности	
	<i>Paramecium caudatum</i>	Тест-система «Эколюм»
Контроль	0.19 ± 0.12, I группа, допустимая степень токсичности	0, I группа, образец не токсичен
10 ПДК БП	0.19 ± 0.11, I группа, допустимая степень токсичности	0, I группа, образец не токсичен
20 ПДК БП	0.34 ± 0.20, I группа, допустимая степень токсичности	29 ± 9, II группа, образец токсичен

Обсуждение

Рост является интегральным показателем состояния растений. При проведении модельного эксперимента установлено, что БП не оказывал влияния на всхожесть семян кресс-салата, что, вероятно, обусловлено низкой проницаемостью семенной кожуры для поллютанта. Кроме того, в период прорастания питание проростка происходит в большей степени благодаря семени, а не за счет питательных веществ почвы. Вероятно, по этой причине изменений ростовых параметров 10-суточных растений кресс-салата в присутствии БП в почве нами не выявлено (см. рис. 1). Тем не менее при высокой дозе БП в почве (20 ПДК) отмечали снижение накопления сырой биомассы корнями проростков (см. рис. 2).

В фазе проростка высшее растение достаточно чувствительно к действию стресс-факторов. Уровень окислительного стресса можно оценивать по накоплению МДА в тканях растений. При внесении БП в почву установлено повышенное относительно контроля содержание МДА в побегах кресс-салата (см. рис. 3), что может свидетельствовать об интенсификации процессов ПОЛ в клетках в условиях окислительного стресса, вызванного наличием БП в почве.

Известно, что БП обладает способностью усиливать рост и размножение ряда растений (Бигалиев и др., 2009). Впервые это было показано на водоросли *Obelia geniculata* (Шабад, 1973). С тех пор многочисленными исследованиями подтверждено, что в малых концентрациях БП обладает ростстимулирующим действием. В работе (Скугорева и др., 2021а) при внесении в почву небольшой дозы БП (2 ПДК) отмечали ростстимулирующий эффект БП. При более высоких концентрациях БП возможны процессы торможения роста и развития растений.

Микроорганизмы являются первой мишенью действия токсиканта на почвенную экосистему. В исследуемых концентрациях БП оказывал очень сильное воздействие, в первую очередь, на численность прокариотных микроорганизмов (см. табл. 1). Наиболее чувствительными к действию БП были аммонификаторы. При этом чем выше была доза БП, тем меньше в почве аммонификаторов: коэффициент корреляции между их численностью в почве и концентрацией БП составил -0.995. Подобный эффект был отмечен нами ранее (Скугорева и др., 2021а). Резкое отрицательное воздействие БП на численность почвенных аммонификаторов

может приводить к снижению активности минерализационных процессов. Угнетение азотфиксаторов происходило только при высокой концентрации БП (20 ПДК), в то же время этот поллютант стимулировал размножение данной группы бактерий при концентрации 10 ПДК. Совершенно иная реакция наблюдается для грибов: отсутствие угнетения при самой высокой дозе БП и стимуляция их размножения при 10 ПДК. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами, приведенными в работе (Опекунова, 2016), согласно которым при содержании 2 ПДК БП проявляется токсическое действие на сапрофитные микроорганизмы, количество которых значительно снижается, и на грибы, количество которых в почве резко возрастает.

При действии БП изменялась не только численность микроорганизмов, но структура популяций микробного сообщества почвы (см. табл. 2). Если для контрольного варианта характерно преобладание аммонификаторов, то для вариантов с БП – азотфиксаторов.

Согласно результатам биотестирования (см. табл. 3), внесение в почву 10 ПДК БП практически не оказывало токсического действия на *P. caudatum* и тест-систему «Эколюм». При более высокой концентрации БП (20 ПДК) отмечено токсическое действие на тест-систему «Эколюм», т. е. данная тест-система является более чувствительной к загрязнению почв БП, чем простейшие *P. caudatum*. Данный факт, вероятно, связан с тем, что кишечная палочка *E. coli*, входящая в основу тест-системы «Эколюм», относится к группе аммонификаторов, численность которых резко снижается при действии данного токсиканта. В то же время ранее нами было отмечено, что *P. caudatum* является чувствительным тест-организмом к загрязнению БП городских почв (Скугорева и др., 2021б).

Библиография

- Абдухалилов О. М., Скугорева С. Г. Токсическое действие полициклических ароматических углеводородов на растения ячменя // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Материалы междунар. науч. конф. Киров: ВятГУ, 2019. С. 249–251.
- Ажогина Т. Н., Скугорева С. Г., Аль-Раммахи А. А. К., Гненная Н. В., Сазыкина М. А., Сазыкин И. С. Влияние поллютантов на распространение генов устойчивости к антибиотикам в окружающей среде // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 6–14. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014
- Бигалиев А. Б., Синтюрина А. В., Бияшева З. М. К вопросу о патогенном действии бензапирена, как загрязнителя окружающей среды (обзор) // Вестник КазНУ. 2009. URL: <https://articlekz.com/article/7146> (дата обращения: 28.10.2021).
- Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35. Вып. 4. С. 773–780.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Внесение БП в почву в дозах 10 и 20 ПДК не оказывало влияния на всхожесть семян и линейные параметры 10-суточных проростков кресс-салата.
2. В варианте опыта с содержанием 20 ПДК БП происходило достоверное снижение накопления сырой биомассы корнями растений кресс-салата в 1.47 раза по сравнению с контролем.
3. В дозах 10 и 20 ПДК БП в почве отмечали увеличение содержания МДА в побегах растений в 1.69 и 1.60 раза по сравнению с контролем, что может свидетельствовать об интенсификации процессов ПОЛ в клетках в условиях окислительного стресса, вызванного наличием БП в почве.
4. Показана неоднозначность размножения почвенных микроорганизмов при внесении БП в дозах 10 и 20 ПДК. Самой чувствительной группой оказались аммонификаторы, которые можно считать индикаторной группой организмов на загрязнение почвы БП.
5. Бактериальная тест-система «Эколюм» проявила себя более чувствительной по отношению к БП по сравнению с простейшими *Paramecium caudatum*. Острая токсичность для тест-системы «Эколюм» выявлена при загрязнении почвы 20 ПДК БП.

Таким образом, почва, загрязненная 20 ПДК БП, является токсичной для таких групп почвенных микроорганизмов, как аммонификаторы и азотфиксаторы, для проростков кресс-салата и для тест-системы «Эколюм». Первые рекогносцировочные данные о токсичности для различных групп живых организмов (бактерии, высшие растения) впоследствии можно включать в разработку систем мониторинга состояния почв, загрязненных данным поллютантом

- МУК 4.1.1274-03. Измерение массовой доли бензпирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора pyrene in samples of soils, grounds, sediments and solid waste by HPLC using a fluorimetric detector]. М.: Минздрав России, 2003. 36 с.
- Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: Учеб. пособие . 2-е изд. СПб.: СПбГУ, 2016. 299 с.
- Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Абдухалилов О. М. Влияние бензпирена на развитие почвенных микроорганизмов и рост проростков пелюшки pyrene on the development of soil microorganisms and the growth of field pea seedlings] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2021а. С. 103–108.
- Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Абдухалилов О. М., Забубенина Ю. С., Фокина А. И., Кулаков В. Н. Особенности микробиологического и химического состава урбаноземов парков г. Кирова // Материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Киров: Вятский государственный университет, 2021б. Кн. 1. С. 277–282.
- Шабад Л. М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде . М.: Медицина, 1973. 367 с.
- Яковлева Е. В., Габов Д. Н. Полициклические ароматические углеводороды в растениях естественных бугристых болот // Принципы экологии. 2019. № 2. С. 119–128. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8822.
- Яковлева Е. В., Габов Д. Н., Безносиков В. А. Влияние бензпиренового загрязнения на ростовые процессы и состав полиаренов растений pyrene pollution on the growth processes and composition of polyarenes of plants] // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 45–51. DOI: 10.25750/1995-4301-2015-4-045-051.
- Gałązka A., Grządziel J. The molecular-based methods used for studying bacterial diversity in soils contaminated with PAHs (the review) // Soil Contamination – Current Consequences and Further Solutions / Eds. M. L. Larramendy, S. Soloneski. IntechOpen. 2016. P. 85–104. DOI: 10.5772/64772.
- Ifegwu O. C., Anyakora C. Chapter Six – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Part I. Exposure // Advances in Clinical Chemistry. 2015. Vol. 72. P. 277–304. DOI: 10.1016/bs.acc.2015.08.001.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ 1220401000325.

ASSESSMENT OF TOXICITY OF SOIL CONTAMINATED WITH BENZ[A]PYRENE

SKUGOREVA Svetlana Gennadievna *Ph.D., Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS, skugoreva@mail.ru*

DOMRACHEVA Lyudmila Ivanovna *D.Sc., Vyatka State Agrotechnological University, dli-alga@mail.ru*

KUTYAVINA Tatiana Igorevna *Ph.D., Vyatka State University, kutyavinati@gmail.com*

ABDUKHALILOV Olim Musurmon ugli *N. D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences, alimbay.1998@mail.ru*

ZABUBENINA Julia Sergeevna *Vyatka State Agrotechnological University, candyman30@mail.ru*

ASHIKHMINA Tamara Yakovlevna *Ph.D., Vyatka State University, usr08619@vyatsu.ru*

Keywords:
polycyclic aromatic hydrocarbons
benz[a]pyrene
toxicity
garden cress
soil microorganisms
biotesting

Summary: A model experiment was carried out to assess the toxicity of soddy-podzolic soil artificially contaminated with benz[a]pyrene (BP) at doses of 10 and 20 MPC. It was established that a decrease in the accumulation of biomass by the roots of garden cress plants begins to manifest itself only when the content of BP is 20 MPC. The introduction of BP into the soil leads to an increase in the content of malonic dialdehyde in plant shoots, which indicates the intensification of lipid peroxidation processes under conditions of oxidative stress. In the presence of BP, the ambiguity of reproduction of soil microorganisms was shown. The most sensitive group to this pollutant turned out to be ammonifiers, which can be considered as an indicator group of organisms for soil contamination with BP. The Ecolum bacterial test system also proved to be sensitive to BP. Thus, soil contaminated with 20 MPC BP is toxic for such groups of soil microorganisms as ammonifiers and nitrogen fixers, for garden cress seedlings and the Ecolum test system.

Received on: 06 June 2022

Published on: 05 October 2022

References

- Abduhalilov O. M. Skugoreva S. G. Toxic effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on barley plants, Transformatsiya ekosistem pod vozdeystviem prirodnih i antropogennykh faktorov: Materialy mezhdunar. nauch. konf. Kirov: VyatGU, 2019. P. 249–251.
- Azhogina T. N. Skugoreva S. G. Rammahi A. A. Gnennaya N. V. Sazykina M. A. Sazykin I. S. The effect of pollutants on the spread of antibiotic resistance genes in the environment, Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2020. No. 3. P. 6–14. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014
- Bigaliev A. B. Sintyurina A. V. Biyasheva Z. M. On the pathogenic effect of benzopyrene as an environmental pollutant (review), Vestnik KazNU. 2009. URL: <https://articlekz.com/article/7146> (data obrascheniya: 28.10.2021).
- Gałazka A., Grządziel J. The molecular-based methods used for studying bacterial diversity in soils contaminated with PAHs (the review), Soil Contamination – Current Consequences and Further Solutions, Eds. M. L. Larramendy, S. Soloneski. IntechOpen. 2016. P. 85–104. DOI: 10.5772/64772.
- Ifegwu O. C., Anyakora C. Chapter Six – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Part I. Exposure, Advances in Clinical Chemistry. 2015. Vol. 72. P. 277–304. DOI: 10.1016/bs.acc.2015.08.001.
- Lukatkin A. S. Golovanova V. S. The intensity of lipid peroxidation in the cooled leaves of thermophilic plants, Fiziologiya rasteniy. 1988. T. 35. Vyp. 4. P. 773–780.
- Opekunova M. G. Bioindication of pollution: A textbook. 2-e izd. SPb.: SPbGU, 2016. 299 p.

- Shabad L. M. About the circulation of carcinogens in the environment. M.: Medicina, 1973. 367 p.
- Skugoreva S. G. Domracheva L. I. Abduhalilov O. M. Zabubenina Yu. S. Fokina A. I. Kulakov V. N. Features of microbiological and chemical composition of urbanozems in the parks of the city of Kirov, Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy s mezhdunarodnym uchastiem konferencii «Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ih resheniya». Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2021b. Kn. 1. P. 277–282.
- Skugoreva S. G. Domracheva L. I. Abduhallilov O. M. apirena na razvitie pochvennyh mikroorganizmov i rost prorostkov pelyushki pyrene on the development of soil microorganisms and the growth of field pea seedlings], Biodiagnostika sostoyaniya prirodnyh i prirodno-tehnogennyh sistem: Materialy HIX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii c mezhdunarodnym uchastiem. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2021a. C. 103–108.
- Yakovleva E. V. Gabov D. N. Beznosikov V. A. apirenovogo zagryazneniya na rostovye processy i sostav poliarenov rasteniy pyrene pollution on the growth processes and composition of polyarenes of plants], Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. No. 4. P. 45–51. DOI: 10.25750/1995-4301-2015-4-045-051.
- Yakovleva E. V. Gabov D. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in plants of natural bumpy swamps, Principy ekologii. 2019. No. 2. P. 119–128. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8822.
- apirena v probah pochv, gruntov, donnyh otlozheniy i tverdyh othodov metodom VEZhH s ispol'zovaniem fluorimetriceskogo detektora pyrene in samples of soils, grounds, sediments and solid waste by HPLC using a fluorimetric detector]. M.: Minzdrav Rossii, 2003. 36 p.



УДК 574.58

ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВСТРЕЧАЕМОСТИ ВИДОВ МАКРОЗООБЕНТОСА

ШИТИКОВ
Владимир Кириллович

д. б. н., Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН,
stok1946@gmail.com

ЗИНЧЕНКО
Татьяна Дмитриевна

д. б. н., Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН,
zinchenko.tdz@yandex.ru

ГОЛОВАТЮК
Лариса Владимировна

к. б. н., Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, gollarisa@mail.ru

Ключевые слова:

биоиндикация
экологический риск
техногенное загрязнение
водоемов
макрозообентос
многомерное
неметрическое
шкалирование
распределение
чувствительности видов

Аннотация: Описана методика обоснования экологического риска техногенного загрязнения водных объектов по результатам биоиндикации с использованием сообществ макрозообентоса. На первом этапе на основе статистических методов выполнялась оценка экстремальных значений гидрохимических показателей, при которых встречаемость каждого вида маловероятна. По этим данным моделировалось статистическое распределение чувствительности видов (SSD). Для иллюстрации методики использовались результаты многолетней гидробиологической съемки макрозообентоса на 102 малых и средних реках в бассейне Средней и Нижней Волги. Приведены пороговые значения восьми показателей загрязнения речной воды, обеспечивающие заданную допустимую вероятность экологического риска.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. А. Березина

Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 22 июня 2022 года

Подписана к печати: 29 сентября 2022 года

Введение

Современная методология оценки экологического состояния природных водных объектов заключается в выявлении критических уровней воздействия, которые интерпретируются как «начало наиболее быстрой трансформации экосистемы либо как точка, после которой начинается выпадение основных компонентов биоценоза или разрушение системных связей» (Воробейчик и др., 1994). Эффективным способом выявления областей сверхнормативных техноген-

ных загрязнений в пределах исследуемой территории является биоиндикация, основанная на анализе встречаемости видов-индикаторов и оценке снижения показателей биоразнообразия ключевых сообществ.

Уменьшение обилия отдельных таксонов и видового богатства изучаемой группы организмов при увеличении концентрации токсичного ингредиента или их смеси обычно описывается статистическими моделями распределения чувствительности видов SSD (англ. *Species Sensitivity Distribution*).

Кривая SSD в своем классическом варианте (Aldenberg, Jaworska, 2000; Posthuma et al., 2001) определяет последовательность пороговых (критических) концентраций токсиканта HC_p (англ. *hazardous concentration*), которые будут опасными для p % наиболее чувствительных видов от их общего количества в сообществе и неэффективными для остальных.

Зависимость SSD интерпретируется как интегральная функция некоторого теоретического распределения вероятности, параметры которого оцениваются по выборке таксономических групп, имеющих установленные показатели токсикометрии: полулетальной LC_{50} или максимально недействующей концентрации NOEC (англ. *no observed effect concentration*). Для вероятностной оценки экологического риска опасности загрязнения изучаемой экосистемы по результатам выполненных наблюдений моделируется статистическое распределение действующих изоэффективных концентраций ЕС ксенобиотика. Тогда количественно риск оценивается в результате сравнения нормативной и эмпирической кривых распределения как вероятность $P(ЕС > HC_p)$ превышения эффекта вредного действия в реальных условиях над аналогичным эффектом, определяемым SSD (Verdonck et al., 2003; Шитиков, 2016; Spurgeon et al., 2020).

Традиционные методы оценки критических концентраций LC_{50} и NOEC требуют проведения трудоемких токсикометрических исследований, а выборка для моделирования SSD должна охватывать достаточно полный набор ключевых таксономических групп изучаемой экосистемы и быть статистически репрезентативной для каждого учитываемого токсиканта. В частности, корректная интерпретация кривой чувствительности возможна при числе анализируемых видов не менее 30 (Newman et al., 2000). Поэтому актуальным представляется поиск подходов, позволяющих проводить экспресс-оценку экологического состояния водоемов, основываясь только на данных натурных наблюдений без проведения лабораторного эксперимента. Кроме того, в отличие от медицинской токсикологии, оценка влияния ксенобиотиков на экосистемном, биоценотическом или популяционном уровнях не сводится только к одним параметрам токсикометрии. Экотоксичность в более широком смысле принято характеризовать через понятия *вероятность опасности* или *экологический риск* посредством разработки ста-

тистических моделей, включающих целый ряд качественных или полуколичественных показателей (Безель и др., 1994; Гелашвили и др., 2016).

Цель настоящей работы – обосновать метод построения кривых чувствительности видов и ориентировочной оценки критических уровней ксенобиотиков с использованием статистических моделей. При этом широко использовались методические материалы международного проекта ECOSAR (*Ecological Structure Activity Relationship*) (Solomon et al., 2008), в рамках которого проводился комплекс исследований экотоксичности различных сообществ гидробионтов (в составе океанов, бассейнов внутренних вод, микрокосмов и др.). Применимость предлагаемых методов рассматривается нами на примере отклика донных сообществ на изменение отдельных показателей качества вод малых и средних равнинных рек, протекающих в широких пределах природно-климатических зон от лесостепной до полупустынной и имеющих различный уровень антропогенного воздействия.

Материалы

Построение моделей распределения чувствительности видов донных сообществ по шкале гидрохимических факторов проводилось по результатам многолетних (1990–2020 гг.) исследований на территории Среднего и Нижнего Поволжья (Зинченко, 2011; Golovatyuk et al., 2018). Гидробиологическую съемку макрозообентоса проводили в разные месяцы вегетационного периода на 90 малых и 12 средних равнинных реках, притоках Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ, в т. ч. на 6 реках аридного региона бассейна оз. Эльтон (см. карты в статье Головатюк и др., 2021). Всего было собрано 1400 проб с идентификацией 740 видов и таксонов рангом выше вида. На станциях отбора проб параллельно проводился мониторинг различных факторов среды, включающих показатели качества воды и содержание основных химических ингредиентов (в т. ч. состав донных грунтов, насыщение воды кислородом, минерализация, концентрация биогенных элементов и тяжелых металлов, загрязнение органическими веществами и др.). Далее в расчетах был сделан анализ влияния 8 наиболее репрезентативных гидрохимических показателей, измеренных в идентичных условиях и имеющих достаточный диапазон вариации.

Методы

Статистическую обработку в целях оценки критических уровней воздействия и построения кривых SSD по каждому рассматриваемому гидрохимическому показателю X проводили в два этапа. На первом этапе из базы данных для каждого вида из 740 извлекалась выборка наблюдаемых значений содержания поллютанта ($x_1, \dots, x_n$) со средним $\bar{x}$ и стандартным отклонением σ . Если встречаемость вида в выборке $n > 5$, то оценивали верхний и нижний доверительные 95%-ные интервалы $CI = \bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \times \sigma / (n)^{0.5}$ на основе критических значений распределения Стьюдента t . Верхние доверительные величины CI принимали в качестве порогов чувствительности видов (точнее, максимальных неэффективных концентраций NOEC), поскольку вероятность их встречаемости в среде с еще большей концентрацией ксенобиотика равна 0.025. На втором этапе с использованием значений NOEC для всех отобранных видов выполняли построение модели теоретического логнормального распределения вероятности встречаемости видов. Доверительная полоса для каждой кривой SSD рассчитывалась с использованием параметрического бутстрепа (Шитиков, 2016).

Расчеты проводили с использованием языка и статистической среды R v. 3.6.1.

Результаты

На графиках распределения чувствительности (рисунок, а, б) точками показано положение пороговых концентраций (NOEC) для различных видов макрозообентоса на шкале некоторых показателей качества воды. По оси ординат представлена накопленная вероятность p того, что NOEC конкретного вида будет превышать эти значения для всего остального сообщества. Эмпирические точки аппроксимируются теоретическим логнормальным распределением, и качество подгонки определяется долей наблюдений, не выходящих за пределы 95%-ной доверительной полосы.

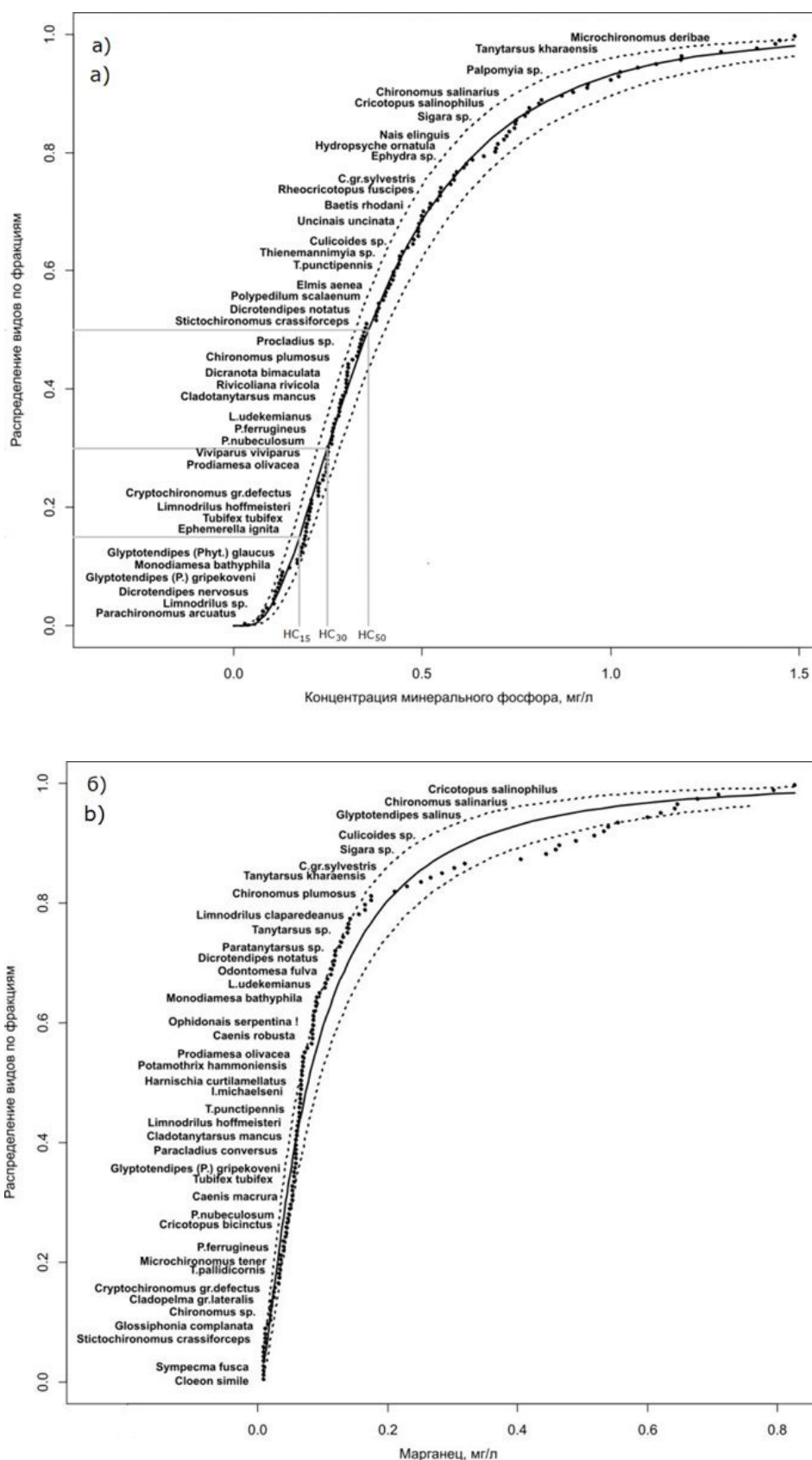
Если задаться произвольными критическими вероятностями, например $p = \{15, 30, \text{ и } 50 \%\}$, то с использованием кривых распределений SSD можно оценить набор опасных концентраций HC_p воздействующего фактора (см. рисунок, а). Их смысл состоит в том, что при уровне воздействия, превышающем HC_p , из регионального пула выпадает $p \%$ наиболее чувствительных видов, поскольку их присутствие в сообществе становится маловероятным (таблица).

Кривые чувствительности для некоторых показателей, возрастание которых приводило к увеличению качества окружающей среды, таких как насыщение кислородом в таблице, интерпретировали в обратном порядке, т. е. критические концентрации находили для $(1 - p) \%$ потенциально выпадающих фракций видов.

Обсуждение

Кривые чувствительности видов и вычисленные с их помощью пороговые концентрации гидрохимических показателей позволяют оперативно выполнить оценку качества воды: если для всех нормированных ингредиентов эмпирическое содержание не превышает HC_{15} , то водный объект квалифицируется как «чистый», а при превышении HC_{50} – «опасно загрязненный». Возможны и любые иные промежуточные градации оценок. Описанные методы могут быть также напрямую использованы в целях биоиндикации. Они позволяют легко установить как «потенциально чувствительные фракции» (PAF – *potentially affected fraction*) видов, которые выпадают из сообщества при уровне $p \%$ экологического риска, так и виды, устойчивые к каждому конкретному загрязняющему веществу, находящиеся в верхней части кривой SSD.

Нежелательные события, обуславливающие экологический риск, в общем случае могут происходить на уровне экосистемы, сообщества, отдельных видов, популяций или особей. Анализ распределения чувствительности видов связан только с одним узко определенным сегментом оценки риска – снижением видового разнообразия. Однако эта проблема и сейчас далека от своего полного методического решения. Использование токсикометрических показателей (NOEC, LD_{50}) необходимо и желательно, но их массовое определение для различных экотоксикантов и в отношении многочисленных видов гидробионтов практически нереально. Другим важным аргументом против традиционного подхода является механический перенос условий химического воздействия из лабораторных испытаний на условия конкретной природной экосистемы. При анализе SSD никак не используется информация об экологии сообществ (межвидовых взаимодействиях, трофических связях, условиях среды обитания или относительной значимости ключевых видов и функциональных групп). Поэтому актуальной альтернативой представляется оценка порогов токсическо-



Логнормальное распределение вероятности встречаемости видов макрозообентоса (сплошная линия) с верхней и нижней огибающими 95%-ной доверительной области (пунктиром) при различных уровнях гидрохимических показателей: а) содержания минерального фосфора, б) марганца

Lognormal distribution of the probability of occurrence of macrozoobenthos species (solid line) with upper and lower envelopes of 95 % confidence region (dotted line) at different levels of hydrochemical indicators: а) the content of mineral phosphorus, б) that of manganese

Критические значения НС показателей загрязнения воды для различных уровней экологического риска p , рассчитанные по кривым распределения чувствительности донных сообществ (SSD)

Показатель загрязнения воды	Уровень экологического риска p		
	15 %	30 %	50 %
Минеральный фосфор, мг/л	0.174 ± 0.013	0.249 ± 0.0158	0.358 ± 0.021
Железо, мг/л	0.221 ± 0.015	0.311 ± 0.018	0.441 ± 0.024
Марганец, мг/л	0.0245 ± 0.0029	0.0434 ± 0.0043	0.0777 ± 0.0075
Медь, мг/л	0.0024 ± 0.0002	0.0038 ± 0.0003	0.0061 ± 0.0004
Аммонийный азот, мг/л	0.1629 ± 0.0212	0.3197 ± 0.036	0.638 ± 0.0681
Биохимическая окисляемость, мгО/л	22.14 ± 1.31	29.13 ± 1.43	38.57 ± 1.77
Общая минерализация, мг/л	486 ± 45	881 ± 70	1620 ± 127
Насыщение кислородом, %	152.5 ± 2.71	134 ± 2.04	117.4 ± 1.73

го действия в условиях пассивной схемы отбора проб из природной экосистемы.

Задача нормирования воздействий на основе «коллективного отклика» донных сообществ заключается в выборе приемлемого уровня экологического риска. Однако не ясно, какой долей p % видов можно пожертвовать, чтобы это не было критически опасным для экосистемы. Другой трудно-разрешимой проблемой при оценке НОЕС по данным натурных наблюдений является многокомпонентный и комбинаторный характер воздействия загрязняющих веществ (Smetanova et al., 2001). При этом нет никаких доказательств того, что отсутствие вида в пробе вызвано воздействием изучаемого экотоксиканта, а не какого-то иного фактора, либо просто случайными обстоятельствами.

Необходимо также отметить, что применение описанного подхода для оценки антропогенного воздействия ограничивается фоновыми геохимическими условиями каждого региона. Например, оцениваемый как приемлемый уровень минерализации в 500 мг/л сильно модифицирует влияние токсикантов и снижает токсичность многих тяжелых металлов. Пороговый уровень содержания минерального фосфора 174 мкг/л оценивался по токсикологическому признаку, но уже при гораздо меньших концентрациях этого вещества механизм опасного воздействия на водную экосистему связан с ее стремительным эвтрофированием. Слишком вы-

сокий порог насыщения кислородом (116 %) обусловлен большой долей проб, взятых с бактериальных матов соленых рек бассейна оз. Эльтон, т. е. критичен только для определенного пула очень оксифильных видов в конкретных водоемах. В этой связи выявленные критерии опасности будут иметь, вероятно, узко региональное применение.

Тем не менее рассматриваемый метод реализует один из возможных подходов к разработке оценки качества среды на надорганизменном уровне, что может служить лучшему пониманию реакции природных экосистем на антропогенное воздействие.

Заключение

На основе анализа видовой структуры макрозообентоса в малых равнинных реках бассейна Средней и Нижней Волги нами показана возможность проведения экспресс-оценки экологического риска с использованием распределения чувствительности видов. Аппроксимация этих результатов кумулятивной кривой логнормального распределения дает возможность предсказать, какая доля видов p % от общего их числа исчезнет из состава сообщества при конкретном значении НС_р показателя загрязнения водоема (концентрации токсиканта). В качестве примера нами рассчитаны критические значения восьми показателей качества воды для заданных уровней экологического риска (15 %, 30 % и 50 %).

Библиография

- Безель В. С., Большаков В. Н., Воробейчик Е. Л. Популяционная экотоксикология. М.: Наука, 1994. 79 с.
- Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Гелашвили Д. Б., Безель В. С., Романова Е. Б., Безруков М. Е., Силкин А. А., Нижегородцев А. А. Принципы и методы экологической токсикологии. Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. 703 с.
- Головатюк Л. В., Зинченко Т. Д., Шитиков В. К. Географические аспекты пространственного распре-

- деления биоразнообразия донных сообществ Среднего и Нижнего Поволжья // Принципы экологии. 2021. № 2. С. 38–53.
- Зинченко Т. Д. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна Средней и Нижней Волги (Атлас) . Тольятти: Кассандра, 2011. 258 с.
- Шитиков В. К. Экоотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R . 2016. Электронная книга. 149 с. URL: <https://stok1946.blogspot.com/p/blog-page.html> (дата обращения: 12.10.2020).
- Aldenberg T., Jaworska J. S. Uncertainty of the hazardous concentration and fraction affected for normal species sensitivity distributions // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2000. Vol. 46. P. 1–18.
- Golovatyuk L. V., Shitikov V. K., Zinchenko T. D. Estimation of the Zonal Distribution of Species of Bottom Communities in Lowland Rivers of the Middle and Lower Volga Basin // *Biology Bulletin*. 2018. Vol. 45 (10). P. 1262–1268.
- Newman M. C., Ownby D. R., Mezin L. C. A. et al. Applying species-sensitivity distributions in ecological risk assessment: assumptions of distribution type and sufficient numbers of species // *Environ. Toxicol. Chem.* 2000. Vol. 19, No 2. P. 508–515.
- Posthuma L., Suter G. W. H., Traas T. P. *Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*. CRC Press, 2001. 616 p.
- Smetanova S., Blaha L., Liess M., Schafer R. B., Beketov M. A. Do predictions from Species Sensitivity Distributions match with field data? // *Environ Pollut.* 2014. Vol. 189. P. 126–133.
- Solomon K. R., Brock T. C. M., De Zwart D. et al., eds. *Extrapolation Practice for ecotoxicological effect characterization of chemicals*. SETAC Press & CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2008. 410 p.
- Spurgeon D., Lahive E., Robinson A., Short S., Kille P. Species Sensitivity to Toxic Substances: Evolution, Ecology and Applications // *Front. Environ. Sci.* 2020. 8:588380. P. 1–25. DOI: 10.3389/fenvs.2020.588380.
- Verdonck F. A. M., Aldenberg T., Jaworska J., Vanrolleghem P. A. Limitations of current risk characterization methods in probabilistic environmental risk assessment // *Environ. Toxicol. Chem.* 2003. Vol. 22. P. 2209–2213.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-04-03341 и в рамках государственного задания по теме № АААА-А17-117112040039-7 «Экологические закономерности структурно-функциональной организации, ресурсного потенциала и устойчивого функционирования экосистем Волжского бассейна» (направление 51 «Экология организмов и сообществ»). Благодарим рецензентов статьи, давших точные и полезные замечания.

ASSESSMENT OF CRITICAL LEVELS OF POLLUTION OF WATER BODIES BASED ON THE STATISTICAL DISTRIBUTION OF THE OCCURRENCE OF MACROZOOBENTHOS SPECIES

SHITIKOV
Vladimir Kirillovitch

*D.Sc., Samara Federal Research Scientific Center, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Science,
stok1946@gmail.com*

ZINCHENKO
Tatyana Dmitrievna

*D.Sc., Samara Federal Research Scientific Center, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Science,
zinchenko.tdz@yandex.ru*

GOLOVATYUK
Larisa Vladimirovna

*PhD, Samara Federal Research Scientific Center, Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Science,
gollarisa@mail.ru*

Keywords:
bioindication
environmental risk
technogenic pollution
water bodies
macrozoobenthos
Species Sensitivity
Distribution

Summary: A methodology for substantiating the environmental risk of technogenic pollution of water bodies is described based on the results of bioindication using macrozoobenthos communities. At the first stage, on the basis of statistical methods, the estimation of extreme values of hydrochemical factors, at which the occurrence of each species is unlikely, was carried out. Based on these data, the statistical distribution of the species sensitivity (SSD) was simulated. To illustrate the methodology, the results of a long-term hydrobiological survey of macrozoobenthos on 102 small and medium-sized rivers in the Middle and Lower Volga basin were used. The threshold values of eight indicators of river water pollution providing a preset permissible probability of environmental risk are given.

Reviewer: N. A. Berezina

Reviewer: N. M. Kalinkina

Received on: 22 June 2022

Published on: 29 September 2022

References

- Aldenberg T., Jaworska J. S. Uncertainty of the hazardous concentration and fraction affected for normal species sensitivity distributions, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2000. Vol. 46. P. 1–18.
- Bezel' V. S. Bol'shakov V. N. Vorobeychik E. L. *Population ecotoxicology*. M.: Nauka, 1994. 79 p.
- Gelashvili D. B. Bezel' V. S. Romanova E. B. Bezrukov M. E. Silkin A. A. Nizhegorodcev A. A. *Principles and methods of environmental toxicology*. N. Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2016. 703 p.
- Golovatyuk L. V. Zinchenko T. D. Shitikov V. K. Gejgrafical aspects of spatial distribution of biodiversity in benthic communities in the Middle and Lower Volga region, *Principy ekologii*. 2021. No. 2. P. 38–53.
- Golovatyuk L. V., Shitikov V. K., Zinchenko T. D. Estimation of the Zonal Distribution of Species of Bottom Communities in Lowland Rivers of the Middle and Lower Volga Basin, *Biology Bulletin*. 2018. Vol. 45 (10). P. 1262–1268.
- Newman M. C., Ownby D. R., Mezin L. C. A. et al. Applying species-sensitivity distributions in ecological risk assessment: assumptions of distribution type and sufficient numbers of species, *Environ. Toxicol. Chem.* 2000. Vol. 19, No 2. P. 508–515.
- Posthuma L., Suter G. W. H., Traas T. P. *Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*. CRC Press, 2001. 616 p.
- Shitikov V. K. *Ecotoxicology and statistical modeling of the effect using R*. 2016. Elektronnaya kniga. 149 p. URL: <https://stok1946.blogspot.com/p/blog-page.html> (data obrascheniya: 12.10.2020).
- Smetanova S., Blaha L., Liess M., Schafer R. B., Beketov M. A. Do predictions from Species Sensitivity Distributions match with field data?, *Environ. Pollut.* 2014. Vol. 189. P. 126–133.
- Solomon K. R., Brock T. C. M., De Zwart D. et al., eds. *Extrapolation Practice for ecotoxicological effect*

- characterization of chemicals. SETAC Press & CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2008. 410 r.
- Spurgeon D., Lahive E., Robinson A., Short S., Kille P. Species Sensitivity to Toxic Substances: Evolution, Ecology and Applications, *Front. Environ. Sci.* 2020. 8:588380. P. 1–25. DOI: 10.3389/fenvs.2020.588380.
- Verdonck F. A. M., Aldenberg T., Jaworska J., Vanrolleghem P. A. Limitations of current risk characterization methods in probabilistic environmental risk assessment, *Environ. Toxicol. Chem.* 2003. Vol. 22. P. 2209–2213.
- Vopobeychik E. L. Sadykov O. F. Farafontov M. G. Ecological regulation of technogenic pollution of terrestrial ecosystems (local level). Ekaterinburg: Nauka, 1994. 280 p.
- Zinchenko T. D. Ecological and faunal characteristics of chironomids (Diptera, Chironomidae) of small rivers of the Middle and Lower Volga basin (Atlas). Tol'yatti: Kassandra, 2011. 258 p.



ПТИЦЫ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»

АРТЕМЬЕВ

Александр Владимирович

д. б. н., Институт биологии КарНЦ РАН, ficedul@gmail.com

Получена: 26 сентября 2022 года

Подписана к печати: 30 сентября 2022 года

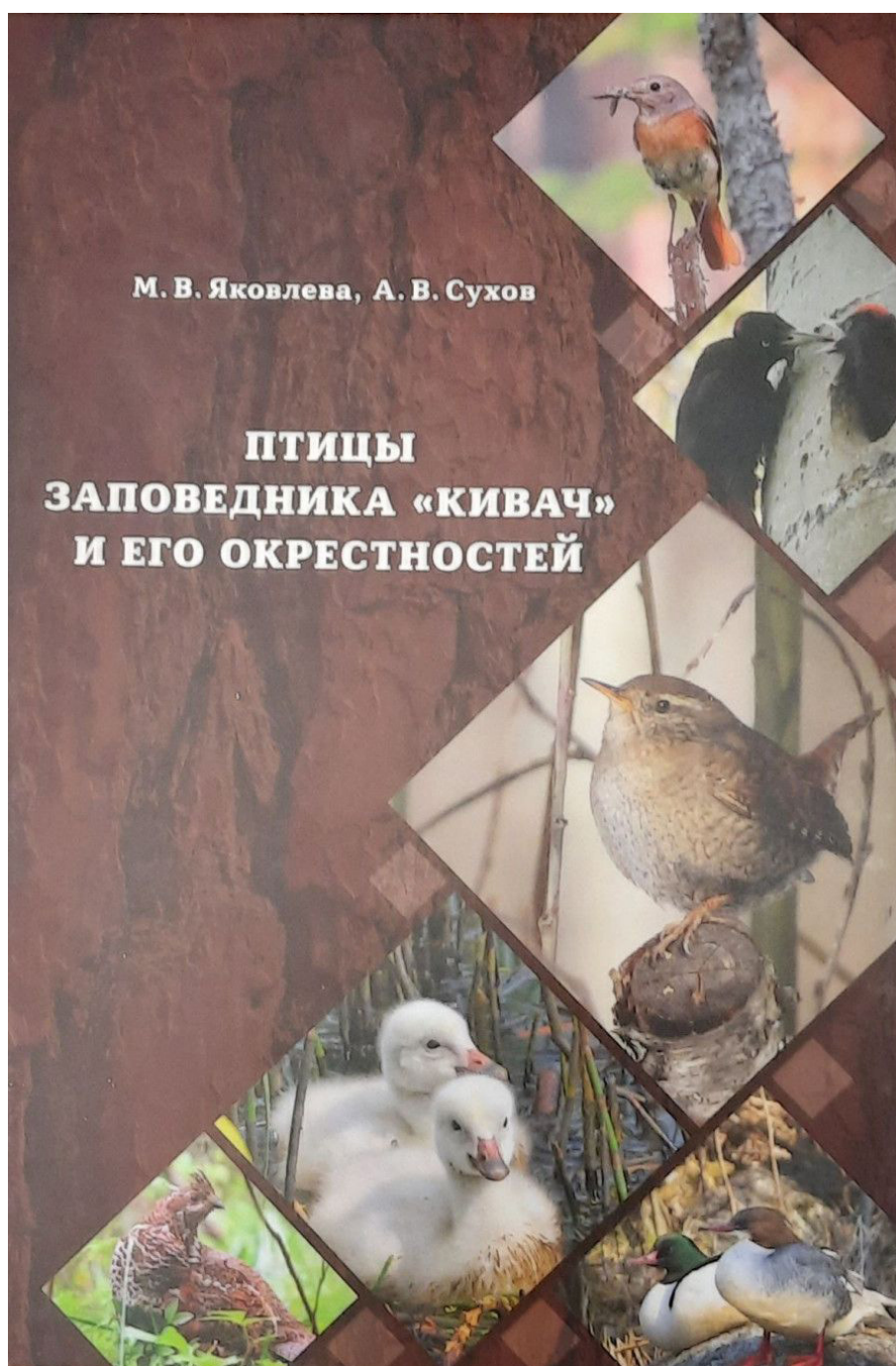
В 2020 г. вышла в свет книга Марины Владимировны Яковлевой и Александра Владимировича Сухова «Птицы заповедника "Кивач" и его окрестностей» (под редакцией Т. Ю. Хохловой). В ней обобщены как архивные сведения старейшего заповедника Карелии, так и собственные материалы, собранные авторами этой книги за почти полувековой период.

Эту книгу по праву можно назвать энциклопедией птиц заповедника «Кивач»: в ней представлены исчерпывающие сведения по биологии 227 видов птиц, зарегистрированных на территории заповедника и в его окрестностях. Подробно описаны образ жизни и биология гнездования большинства обитающих здесь видов, для многих из них приведены сведения о сроках размножения, величине кладки или выводка, успешности размножения. Особый интерес представляет информация по численности птиц и ее долговременной динамике в заповедных лесах, основанная на данных многолетних учетов. Такие ряды данных охватывают период 40–50 лет и характеризуют популяционную динамику птиц разных экологических и систематических групп: тетеревиных, во-

доплавающих, дятлов и воробьиных.

Не менее интересны и уникальные ряды фенологических наблюдений, прежде всего за началом весеннего прилета, которые у многих видов охватывают более чем полувековой период. На основе этих наблюдений выявлены долговременные изменения сроков сезонных явлений и оценено влияние на них весенних температур воздуха. Для перелетных птиц приведены сроки осенней миграции, у многих видов описаны сроки линьки и другие детали экологии, основанные в том числе и на материалах отлова и индивидуального мечения.

Авторы описали и историю орнитологических исследований на территории заповедника, начавшуюся с посещения водопада Кивач известным натуралистом XIX века К. Ф. Кесслером. Книга написана прекрасным языком и содержит массу информации, полезной не только орнитологам и любителям птиц, но и специалистам в области экологии и охраны окружающей среды, любителям природы и всем желающим расширить свой кругозор и узнать новое об окружающем нас мире.



М. В. Яковлева, А. В. Сухов

ПТИЦЫ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Библиография

[Яковлева М. В., Сухов А. В. Птицы заповедника «Кивач» и его окрестностей](#) / Под общей редакцией Т. Ю. Хохловой; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, ФГБУ «Государственный заповедник «Кивач». Петрозаводск: Форевер, 2020. 383 с.

BIRDS OF THE KIVACH NATURE RESERVE

ARTEMYEV

Alexander Vladimirovich

D.Sc., Institut of biology KRC RAS, ficedul@gmail.com

Received on: 26 September 2022

Published on: 30 September 2022

References

Yakovleva M. V. Suhov A. V. Birds of the Kivach Nature Reserve and its surroundings, Pod obschey redakciey T. Yu. Hohlovoy; Ministerstvo prirodnih resursov i ekologii Rossiyskoy Federacii, FGBU «Gosudarstvennyy zapovednik «Kivach». Petrozavodsk: Forever, 2020. 383 p.



УЖ ПРОДВИГАЕТСЯ НА СЕВЕР

КОРОСОВ
Андрей Викторович

д. б. н., Петрозаводский государственный университет,
korosov@psu.karelia.ru

Подписана к печати: 30 сентября 2022 года

Расположению северной границы ужа обыкновенного посвящен ряд работ российских и финских исследователей (Terhivuo, 1993; Мильто, 2003; Коросов, 2010). Наши экспедиции, проведенные до 2010 г., показали, что самое северное устойчивое поселение обыкновенного ужа находится в окрестностях с. Лоймола (N61.980442°, E31.742366°) (рис. 1). Однако в послед-

ние годы от жителей Карелии стали поступать сведения о находках ужей много севернее (таблица). В этих точках не только встречи с ужами стали регулярными, но и в конце лета обнаруживаются новорожденные особи. А в тех районах, где ужи и раньше иногда встречались, стали находить массовые скопления новорожденных ужей – «детские сады» (рис. 2, 1).

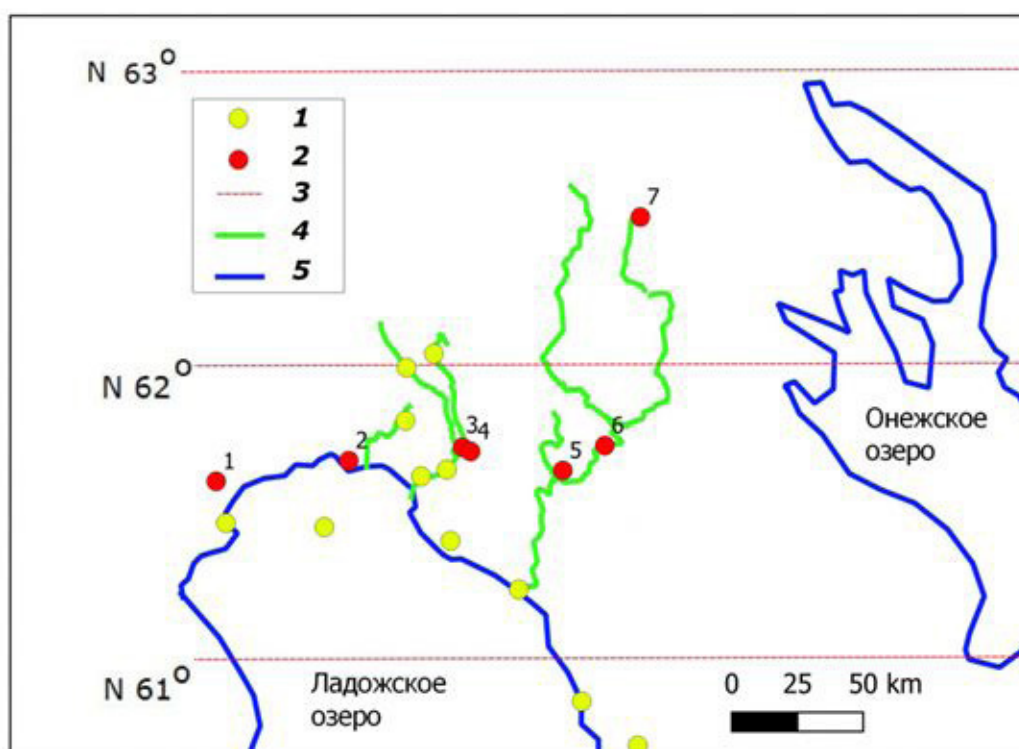


Рис. 1. Точки находок ужей в Карелии и возможные пути их расселения (приведены номера точек из таблицы); 1 – места находок ужей до 2010 г., 2 – места находок ужей после 2010 г., 3 – параллели, 4 – озерно-речные пути расселения, 5 – береговая линия крупных озер

Fig. 1. Sites of snake finds in Karelia and possible ways of their settlement (numbers of sites from the table are given); 1 – places of finds of snakes before 2010, 2 – places of finds of snakes after 2010, 3 – parallels, 4 – lake-river ways of settlement, 5 – coastline of large lakes

Список мест обнаружения ужей в Карелии

№	Селение	Координаты D.D°	Сообщение	Дата
1	г. Лахденпохья (Лахденпохский р-н)	N 61.521157 E 30.194488	Г. Глушко	15.09.2022
2	м. Импилахти (Питкярантский р-н)	N 61.670838 E 31.157760	С. Коросовой	18.08.2019
3	оз. Катисунлампи (Пряжинский р-н)	N 61.663340 E 31.952778	А. Коросова	20.08.2019
4	д. Кясняселькя (Суоярвский р-н)	N 61.648925 E 32.012253	М. Фадеевой	01.06.2021
5	д. Куккойла (Пряжинский р-н)	N 61.590059 E 32.675877	А. Мезенцева С. Фомичева	11.06.2022 21.08.2022
6	д. Савиново (Пряжинский р-н)	N 61.672488 E 32.975681	Н. Абросимовой	02.07.2022
7	д. Линдозеро (Кондопожский р-н)	N 62.445820 E 33.248140	В. Антоновой	12.09.2022

Рассматривая причины, способствующие продвижению ужа на Север, следует выделить три основные. Во-первых, судя по сообщениям и фотографиям, кладки ужа успешно развиваются только в условиях, созданных человеком: в компостных ямах и навозных кучах. Вторым генеральным фактором является безусловно доказанное потепление климата (Назарова, 2014), что со всей очевидностью подтверждают два последних жарких лета в Карелии. Третий фактор – обилие рек и озер, которые служат прекрасными дорогами для перемещения ужей, отличных пловцов. Несложно представить гипотетический маршрут по системе рек и озер от побережья Ладожского озера (здесь они обычны)

до самого северного поселения: Ладожское озеро – р. Видлица – Ведлозеро (находка в д. Куккойла, 5) – р. Вухтанеги – Вохтозеро – (водораздел 700–1000 м) – Хлебозеро (находка в д. Савиново, 6) – Крошнозеро – Шотозеро – р. Сяпся – Сямозеро – сеть мелких рек и озер – Вохтозеро – (водораздел 500 м) – Вендюрское – Сяпчозеро – Мярандукса – Линдозеро (находка в д. Линдозеро, 7).

Новые факты ставят и новые задачи – детально уточнить современный ареал ужа в Карелии, в т. ч. реальные маршруты продвижения на Север.

Автор признателен жителям Карелии за интерес к этой теме и сообщения о своих находках.



Рис. 2. Фотографии ужей из разных мест Карелии (приведены номера точек из таблицы)
Fig. 2. Photographs of snakes from different places in Karelia (numbers of points from the table are given)

Библиография

- Коросов А. В. Экология обыкновенной гадюки (*Vipera berus* L.) на Севере: (факты и модели) . Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 263 с.
- Мильто К. Д. О распространении обыкновенного ужа (*Natrix natrix*) на Европейской части России // Современная герпетология. 2003. Т. 2. С. 100–123.
- Назарова Л. Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Известия РГО. 2014. Т. 146. Вып. 4. С. 27–33.
- Terhivuo J. Provisional atlas for the herpetofauna of Finland in 1980–1992 // Ann. Zool. Fennici. 1993. № 3. P. 55–69.

GRASS SNAKE MOVES TO THE NORTH

KOROSOV
Andrey Victorovich

DSc, Petrozavodsk State University, korosov@psu.karelia.ru

Published on: 30 September 2022

References

- Korosov A. V. System Ecology Of The Common Adder. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 263 p.
- Mil'to K. D. On the distribution of the common grass snake (*Natrix natrix*) in the European part of Russia, *Sovremennaya gerpetologiya*. 2003. T. 2. P. 100–123.
- Nazarova L. E. Variability of mean long-term air temperatures in Karelia, *Izvestiya RGO*. 2014. T. 146. Vyp. 4. P. 27–33.
- Terhivuo J. Provisional atlas for the herpetofauna of Finland in 1980–1992, *Ann. Zool. Fennici*. 1993. No. 3. P. 55–69.