



ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Материалы
II Всероссийской научной конференции
с международным участием
(Череповец, 26-27 октября 2023 г.)

Череповец
2023

Череповецкий государственный университет

**Эволюционные и экологические
аспекты изучения живой материи**

*Материалы II Всероссийской научной конференции
с международным участием
(Череповец, 26–27 октября 2023 г.)*

Череповец
2023

УДК 57:573-574 37:372. 8-37. 01
ББК 28.080.1кр
Э 15

Одобрено на заседании НТС Череповецкого государственного университета, протокол № 2 от 12 октября 2023 года.

Рецензенты: Д. Д. Вилкова, канд. биол. наук, н.с. (ФГБОУ ВО ЧГУ); М. Я. Борисов, канд. биол. наук, в.н.с. (Вологодский филиал ФГБНУ ВНИРО); Е. В. Лобуничева, канд. биол. наук, ст.н.с. (Вологодский филиал ФГБНУ ВНИРО); А. А. Вильнет, канд. биол. наук, ст.н.с. (ФГБУН ПАБСИ КНЦ РАН)

Э 15 Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи: материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием (Череповец, 26–27 октября 2023 г.) / ответственный редактор В. В. Петрова. Череповец: Череповецкий государственный университет, 2023. 150 с.
ISBN 978-5-85341-948-3

В сборнике представлены материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи» (Череповец, 26–27 октября 2023 г.) к 70-летию со дня рождения российского зоолога, орнитолога Николая Петровича Коломийцева. Материалы включают в себя доклады сотрудников академических институтов, российских и зарубежных ученых, аспирантов, студентов вузов.

Издание предназначено для ученых, преподавателей, музейных работников, аспирантов, студентов, всех интересующихся изучением объектов живой природы.

УДК 57:573-574 37:372.8-37.01
ББК 28.080.1кр

ISBN 978-5-85341-948-3

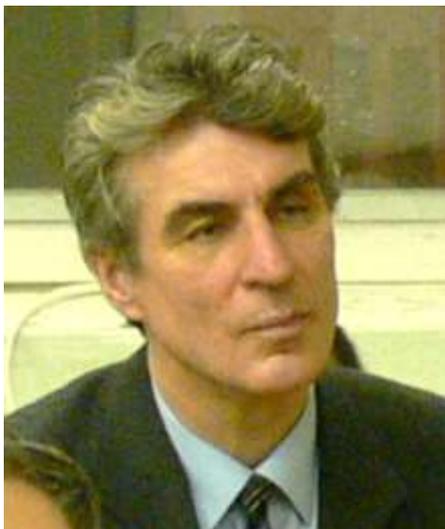
© Череповецкий государственный университет, 2023

Содержание

<i>Поддубная Н. Я., Афанасьева Н. Б., Иванова Е. С.</i> Самый высокий из нас во всех смыслах	5
<i>Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я.</i> Изменчивость окружающей среды во времени и пространстве определяет характер видового богатства вдоль широтных, высотных и глубинных градиентов	15
<i>Агеева Е. А.</i> Паразиты и симбионты брюхоногих моллюсков <i>Viviparus contectus</i> и <i>Lymnaea stagnalis</i>	38
<i>Артеменков А. А.</i> Нейрокогнитивная цефализация как новый этап в эволюции мозга современного человека	41
<i>Баженова Д. Э.</i> Накопление и распределение ртути в органах и тканях амфибий промышленного района Северо-Запада России	46
<i>Губайдуллина Н. А., Кузнецова Л. В.</i> Новые местообитания цикады горной (<i>Cicadetta montana</i> (Scoroli, 1772)) на территории национального парка «Русский Север». Исследования 2022–2023 гг.	49
<i>Ельцова Л. С., Иванова Е. С., Комов В. Т., Мизгирева И. Ю., Кузнецова Л. В., Баринаева М. С., Савкова И. С., Платонова Е. В.</i> Изотопная подпись хищных млекопитающих Северо-Запада России	53
<i>Залесова Н. А., Афанасьева Н. Б.</i> Исследование пыльцевого дождя фоновой территории лесной зоны (п. Борок Никольского района Вологодской области)	57
<i>Зимин М. Д.</i> Содержание ртути в мышечной ткани окуня из озерно-речных систем Вологодской области	59
<i>Иванова Е. С., Ульянова М. А., Румянцева О. Ю.</i> Оценка содержания ртути в зеленых насаждениях г. Череповца	61
<i>Иванова Е. С., Комов В. Т., Ельцова Л. С., Мизгирева И. Ю.</i> Изотопный состав углерода (соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) шерсти млекопитающих, собранных в разные временные периоды на территории Северо-Запада России	64
<i>Камыгина А. В., Комаров К. А., Афанасьева Н. Б., Поддубная Н. Я.</i> Анализ аэропалинологического спектра города Череповца в 2021 году (Вологодская область, Северо-Запад России)	66
<i>Колесова А. А., Румянцева О. Ю., Сидоров С. С., Балашова Ю. Д., Тоболева А. А., Сальников Е. В., Иванова Е. С.</i> Содержание ртути в волосах студентов Ярославского государственного медицинского университета	70
<i>Корнилова А. И., Домнина А. П.</i> Верификация рецепторов к эстрогену и прогестерону в различных эндометриальных клеточных линиях человека и их роль в децидуализации	74
<i>Короткова Т. Б.</i> Особенности синурбизации врановых птиц урбоэкосистемы Череповца Вологодской области	80
<i>Костичев А. А.</i> Исследование накопления общей ртути грибами различных семейств	84
<i>Кудрявцева Д. Р., Шапкин О. А.</i> Оценка условий обитания рукокрылых (Chiroptera) в Дарвинском заповеднике на основе индекса упитанности	87

Кулаков Д. В. Орнитологические наблюдения в поселке Рошино (Ленинградская область)	91
Макаровский А. И. Предварительные данные по биоразнообразию клопов санитарно-защитной зоны ПАО «Северсталь»	95
Молева М. Д. Адаптация утиных к жизни в городе Череповце	98
Никитинская Е. В., Никитинский Д. А., Иванова А. Е. Использование метода секвенирования нового поколения (NGS) в биолого-экологической оценке состояния объектов окружающей среды	102
Павлова Е. Д. Накопление ртути в мышечной ткани рыб Вологодской области	107
Салькина Г. П., Поддубная Н. Я. Половозрастной состав группировки тигра (<i>Panthera tigris altaica</i>) в Лазовском заповеднике по данным фотоучётов	110
Солнцева С. А., Петрова В. В., Шапкин О. А. Изучение рациона питания лесного нетопыря <i>Pipistrellus nathusii</i> Keyserling et Blasius, 1839 (Chiroptera, Vespertilionidae) Дарвинского государственного природного биосферного заповедника	115
Сорокина Д. С. К оценке экологической ниши бенгальской кошки <i>Prionailurus bengalensis</i> (Kerr, 1792) на северо-востоке ареала	117
Сухарева В. Н. Влияние коронавирусной инфекции COVID-19 на мужскую фертильность	121
Трошин Д. С., Мирин Д. М. Изменение спектра эколого-ценотических групп растений за 10 лет послерубочной сукцессии: причины и следствия	124
Харева И. А., Пакляшова Н. А. Влияние солей тяжелых металлов на развитие проростков <i>Rumex aquaticus</i> L.	129
Шапкин О. А., Бабушкин М. В. Опыт применения поправочных коэффициентов слышимости эхолокационных сигналов рукокрылых (Chiroptera) в Дарвинском заповеднике	133
Шиповалов А. Г., Кочина В. А., Кирика С. А. Новые сведения об охраняемых и редких видах микобиоты Вологодской области	137
Щукина М. О. Сезонная динамика и пространственное распределение фитопланктона Рыбинского водохранилища	141
Smirnova J., Loerke J., Zoschke R., Bock R., Spahn Ch. Structural Foundation of Protein Translation in Plant Cells During Cold Acclimation	145

Николай Петрович Коломийцев



УДК 57+018

Самый высокий из нас во всех смыслах

Н. Я. Поддубная¹, Н. Б. Афанасьева², Е. С. Иванова³

^{1,2,3}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

²Московский государственный университет им. М. Ломоносова,
Москва, Россия

¹poddoubnaia@mail.ru

²astnat@yandex.ru

³esivanova@chsu.ru

Аннотация. В статье приводятся сведения об основных научных результатах работы зоолога, орнитолога, эволюционного биолога Николая Петровича Коломийцева (1953–2015). Кратко излагаются основные положения гипотезы происхождения жизни, теории первого неклеточного живого организма – диффузного организма и его потомков (виридов и вирусов), адаптационной теории биоразнообразия во времени и пространстве, а также некоторые сведения о человеческих качествах ученого.

Ключевые слова: происхождение жизни, свойства живого, адаптивная эволюция, конформная эволюция, биологический отбор, биоразнообразие

Abstract. The article provides information about the main scientific results of the work of zoologist, ornithologist, evolutionary biologist Nikolai Petrovich Kolomiitsev (1953–2015). The main provisions of the hypothesis of the origin of life, the theory of the first non-cellular living organism – a diffuse organism and its descendants (viroids and viruses), the adaptive theory of biodiversity in time and space, as well as some information about the human qualities of the scientist are briefly presented.

Keywords: origin of life, properties of the living, adaptive evolution, conformal evolution, biological selection, biodiversity

Н. П. Коломийцев (1953–2015) – один из ярчайших российских естествоиспытателей новейшего времени. Н. П. Коломийцев – последовательный и один из лучших учеников профессоров А. С. Мальчевского, Г. А. Новикова, Л. И. Хозацкого, О. В. Петрова, И. С. Даревского, А. А. Заварзина, Ю. И. Полянского, С. Г. Инге-Вечтомова – плодотворно работал в лучших традициях своих выдающихся учителей. К своим учителям он относил и Ж. П. А. Б. Ламарка, Ч. Дарвина, Н. А. Зарудного, Н. М. Пржевальского, В. Г. Гептнера, П. К. и В. Е. Козловых, А. Н. Формозова, И. А. Шилова, Э. В. Майра (E. W. Mayr), Ф. Г. Добржанского (Th. Dobzhansky) и многих других ученых, труды которых были для него живыми страницами общения с авторами.

Николай Петрович разрабатывал различные области биологии и экологии: биологию размножения, жизненные циклы позвоночных животных (главным образом птиц), демографию – количественную оценку численности, плотности населения, выживаемости, плодовитости, скорости роста популяции; закономерности размещения животных в пространстве – территориальные отношения, расселение, миграции; использование ресурсов среды – изучение питания, динамики популяций хищников и жертв, внутри- и межвидовых отношений, расчета потока энергии и транспорта веществ через популяции; изучение поведения как неотъемлемой части адаптаций к окружающей среде. Его труды по биологии и экологии чешуйчатого крохала и мандаринки [2, 3, 4, 5, 10, 12, 15, 16], уссурийского зуйка [9, 38] и многих других птиц [2, 4, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 19, 23, 27, 28, 29, 35] и млекопитающих [1, 32, 34, 40, 41, 42, 43, 44, 45] вошли в золотой фонд мировой научной литературы, а разработанные на основе детального знания биологии предложения по сохранению редких видов являются примером практического использования фундаментальных знаний [6, 11, 15, 30].

Несомненным большим результатом является разработка им фундаментальных научных проблем, начатая в конце 1990-х гг. в рамках тем:

«Разработка теоретических основ происхождения и ранних этапов эволюции живой материи», «Общие закономерности происхождения и эволюции живой материи» и «Разработка теоретических основ происхождения и эволюции живой материи». Им был выявлен и детально проанализирован не отмечавшийся ранее фактор биологической эволюции – запаздывание материализации генетической информации по отношению к тому состоянию окружающей среды, в котором она формировалась [36, 37].

Между формированием информации и ее материализацией всегда имеется временной интервал, определяющий некоторое запаздывание одного процесса по отношению к другому. Запаздывание материализации генетической информации происходит в силу того, что биологический отбор действует на множества организмов сиюминутно, в то время как отобранная информация реализуется в последующих поколениях. А так как материальный мир непрерывно изменяется, то к появлению следующего поколения какая-то часть этой информации успевает устареть. В качестве адаптации к этому феномену организмам иногда остается только сокращать продолжительность жизни. Но среди множества структурных особенностей, формирующихся на основе «устаревшей» информации, с высокой вероятностью могут присутствовать и такие, которые способны повысить пригодность индивидуумов в изменившейся среде и даже нести элементы «сверхадаптаций» или упреждающих адаптаций. Последние могли помочь некоторым видам выжить во время резких и непредсказуемых изменений среды, когда у них не было времени для постепенной адаптации. Выявленный новый фактор эволюции позволяет существенно повысить точность оценок происходящих популяционных и экосистемных изменений и соответственно улучшить результативность мер по оптимизации природопользования и охраны природных объектов.

Николай Петрович, опираясь на последние достижения в молекулярной биологии, биохимии и вирусологии, предложил новую гипотезу, по существу, теорию происхождения жизни на Земле [26, 37]. Согласно этой гипотезе, жизнь возникла в рамках особой материальной системы, представляющей собой набор специфических локальных сред, объединенных общей перемешивающейся жидкой средой. Такая конструкция представляется единственно возможной, так как синтез различных аминокислот, пуриновых и пиримидиновых азотистых оснований, рибозы, нуклеотидов, полипептидов и сама репликация РНК происходят в различных химических средах, не совместимых друг с другом. В рамках такой системы, состоящей не более чем из 200 нуклеотидов, подобные вирионным частицам молекулы РНК могли копироваться с достаточно высокой для включения механизма адаптивной эволюции точностью. При этом в каждой из ло-

кальных сред осуществлялся синтез отдельных строительных блоков или веществ, необходимых для осуществления точной репликации и выживания РНК, которые затем доставлялись диффузией и конвекционными потоками к местам сборки РНК. Таким образом, вся эта система локальных сред с протекающими в них процессами выступала в качестве некой «машины выживания» точно реплицирующихся молекул РНК, выполняя функции, аналогичные организменным. Наличие на этом этапе каких-либо избирательно проницаемых барьеров между локальными средами и наличие общей ограничивающей мембраны только мешало бы свободному перемещению веществ и подвергло опасности весь процесс воспроизведения точных репликаторов. Разделение такой системы мембранами (процесс компартментализации) могло начаться только одновременно с развитием биохимических механизмов транспорта веществ. Предложенная авторами биологическая система, по существу, является очень грубым аналогом структурно-функциональной организации биосинтетического аппарата живой клетки, несовершенство которого компенсируется огромными размерами. Подобное мы часто наблюдаем в технических изделиях. Так как система не имеет фиксированных границ, а ее части рассеяны в пространстве, авторы предложили назвать ее «диффузным организмом».

Колонизация клеточных форм жизни (возникших несколько позже в результате одного из направлений эволюции диффузных организмов) и узурпация биосинтетических машин клеток позволила этим живым системам стать намного более компактными и выполнять организменные функции более эффективно. В результате диффузные организмы (доклеточные организмы) не исчезли с лица Земли и продолжают весьма успешно сосуществовать со своими более совершенными потомками, демонстрируя широкое разнообразие и удивительную стойкость в различных окружающих средах. Каждый раз при своем формировании во время виридных и вирусных инфекций они приносят нам эхо начальных стадий оживления материи. Уникальность диффузного организма состоит в том, что он одновременно является и организменной, и эволюционирующей системой: в клоне реплицирующихся с высокой точностью молекул нуклеиновых кислот уже может функционировать биологический отбор и протекать адаптивная эволюция. Поэтому кажется, что только такая система, случайно появившаяся всего в единственном экземпляре, была в состоянии дать начало жизни. Предложенный Н. П. Коломийцевым и Н. Я. Поддубной в 2010 г. [37] сценарий происхождения жизни позволяет, неизобретая далеких от реальности конструкций, обойти парадокс нобелевского лауреата Манфреда Эйгена: «ферменты не могут образоваться без большого генома, а большой геном не может образоваться без ферментов», а также су-

щественно сузить пока еще непреодолимую брешь между предбиологической химией и первыми живыми системами. Диффузные организмы во многих отношениях являются настолько специфичными среди существующих форм жизни, что заслуживают присвоения им особой высокой таксономической категории и помещения в самое основание филогенетического дерева жизни.

Нельзя не упомянуть небольшую работу «Происхождение жизни как результат изменения эволюционного механизма» [35, 21], в которой Николай Петрович устранил идущие от Ч. Дарвина и Т. Хаксли неточности в определении базовых экологических терминов «среда» и «условия существования» и продемонстрировал, как точное значение понятий позволило успешно решить проблему происхождения жизни, определить момент, с которого началась жизнь – с точности копирования (наследственности). В результате эволюцию материи он разделил на эволюцию неживой материи – конформную (ее механизм – естественный отбор) и эволюцию живой материи – адаптивную, или дарвиновскую (ее механизм – биологический отбор).

Зоологические работы по экологии редких видов птиц и их сохранению, закономерностям динамики популяций птиц и млекопитающих и работы по эволюционной теории были высоко оценены. Николай Петрович Коломийцев был удостоен Государственной премии Вологодской области по науке и технике в 2018 году за работу «Общие закономерности происхождения и эволюции живой материи на ее ранних и современном этапах».

Уже после смерти в 2018 г. была опубликована его адаптационная теория формирования биоразнообразия во времени и пространстве – *Temporal and spatial variability of environments drive the patterns of species richness along latitudinal, elevational, and depth gradients* *Biological Communications*, перевод которой на русском языке представлен в настоящем сборнике. На этапе рассмотрения рукописи в 2012–2015 гг. зарубежные коллеги предложили Николаю Петровичу провести международную конференцию по этой проблеме с целью обсуждения теории и ее адаптации в сообществе.

Неоценимо влияние личности Николая Петровича на студентов и исследователей, на людей волею случая общавшихся с ним. Его лекции были событием и привлекали не только вдумчивых студентов, но и коллег из научного и педагогического сообщества. При всем многообразии научной, педагогической и организационной деятельности, огромной занятости Николая Петровича поражала открытость и доступность этого человека, возможность получить любую консультацию или отзыв о научной работе.

Вот, например, что о нем писали студенты и коллеги [26]: «Он человек очень деликатный, ведет скромный образ жизни и неотличается экстрава-

гантными привычками. Путешественник и естествоиспытатель, успешный зоолог позвоночных, орнитолог и эволюционист. Он побывал в странах Западной Европы, в Египте, Турции, несколько раз пешком пересек пустыню Кызылкум, пешком и на весельной лодке исходил реки Приморского и Хабаровского краев, Урала, Карелии, Республики Коми, Вологодской и Астраханской областей. Его трудоголизм, нецеремонность и готовность, образно говоря, писать поперек любой линованной бумаги – качества сами собой разумеющиеся. Такую характеристику мы нашли в одной из публикаций о Джобсе и поняли, что она полностью совпадает с характером Николая Петровича. Без них создание биологического направления в молодом университете в период, когда страна стремительно разрушалась и система образования не получала финансирования на оборудование, реактивы, проведение практик, было бы невозможно. Ректор Череповецкого государственного университета, для которого успешный и независимый, жизнестойкий и неизменно приветливый, но опасно агрессивный и сокрушающий периодически нападавших на него чиновников подчиненный был не очень удобным, все же отдавал должное Н. П. Коломийцеву и говорил: «Вам ничто не страшно, вы всюду устойчивы, независимы, и на любом факультете Ваша кафедра самодостаточна». А другие говорили: «Вы как государство в государстве». Ректор неоднократно переводил кафедру из одного подразделения в другое».

Н. Я. Поддубная писала (2016): «От природы тонкий и деликатный Н. П., выросший на западной литературе с доминирующим акцентом на уважении личности, умело строил отношения с коренными жителями и неизменно пользовался их глубочайшим уважением и радушием. ...Судьба дала Николаю Петровичу другую часть азиатской жизни на юге российского Дальнего Востока – в дебрях уссурийской тайги, о которой Н. П. знал не только из работ Н. М. Пржевальского и В. К. Арсеньева, но и других. И здесь он, рискуя здоровьем и жизнью, охранял и изучал дикую природу в Лазовском и Уссурийском заповедниках. Увлеченный натуралист и ученый с жадой открытий, великолепным чувством юмора, мальчишеской дерзостью и озорным огоньком в смеющихся глазах Николай Петрович, приглашенный работать орнитологом, выбрал трудную, как говорил проф. А. С. Мальчевский, недиссертабельную группу околводных птиц. Чешуйчатый (китайский) крохаль, которого до этого считалось великой удачей только увидеть, был изучен в течение пяти лет лучше, чем обыкновенная кряква, которую изучали сотни ученых. Конечно, кроме того, были изучены десятки других птиц и млекопитающих и опубликованы десятки статей. Серьезнейшим испытанием было, когда в разрушающейся стране пришлось оставить успешную карьеру в Российской акаде-

мии наук, переехать для поддержки старых родителей в г. Череповец и на 15 лет прервать изучение любимой и волнующей Азии. При первой же возможности в 2010 г. было продолжено изучение околородных комплексов дальневосточных лесов...»

Настоящая статья – переработанное и дополненное переиздание статьи «Николай Петрович Коломийцев. Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи Материалы I Всероссийской научной конференции (Череповец, 8–9 февраля 2017 г.)

Проводимая конференция – дань памяти этому выдающемуся ученому, открывшему новые горизонты в биологии. Выражаем искреннюю благодарность мэрии города Череповца за финансовую поддержку и помощь в организации и проведении второй Всероссийской конференции «Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи», посвященной памяти Николая Петровича Коломийцева, и всем принявшим участие в ней.

Список литературы

1. Колобова О. С., Поддубная Н. Я., Сенина Д. А. и др. Повышение точности метода видовой идентификации куньих по митохондриальной ДНК из экскрементов // Зоологический журнал. 2015. Т. 96, № 12. С. 1479–1482.
2. Коломийцев Н. П. Гнездящиеся птицы водно-болотных стадий восточных склонов Южного Сихотэ-Алиня // Вестник Ленинградского университета. 1985а. № 24. С. 9–17.
3. Коломийцев Н. П. Чешуйчатый крохаль – *Mergus squamatus* Gould и мандаринка – *Aix galericulatus* (L.) в Лазовском заповеднике // Редкие и исчезающие птицы Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985б. С. 85–88.
4. Коломийцев Н. П. Некоторые интересные залеты птиц в районе Лазовского заповедника // Распространение и биология птиц Алтая и Дальнего Востока: Тр. ЗИН АН СССР. Т. 150. Ленинград, 1986а. С. 84–85.
5. Коломийцев Н. П. Птицы водно-болотных стадий восточных склонов Южного Сихотэ-Алиня (биология, численность, охрана): дис. ... канд. биол. наук. Ленинград, 1986б. 150 с.
6. Коломийцев Н. П. Факторы, лимитирующие численность чешуйчатого крохалья, и рекомендации по охране этого вида // Изучение птиц СССР, их охрана и рациональное использование: Тез. докл. 1-го съезда Всесоюз. орнитол. о-ва (16–20 декабря 1986 г.). Ленинград, 1986в. Ч. 1. С. 306–307.
7. Коломийцев Н. П. Изменение орнитофауны Центральных Кызылкумов под влиянием антропогенного фактора // Вестник Ленинградского университета. 1987а. № 1. С. 21–28.
8. Коломийцев Н. П. Попытка основания гнездовой колонии чернохвостой чайкой в устье реки Киевки (Южное Приморье) // Распространение и биология морских птиц Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987б. С. 85.

9. Коломийцев Н. П. К экологии уссурийского зуйка // Кулики в СССР: распространение, биология и охрана: Материалы 3-го совещ. «Распространение, биология и охрана куликов», 29–30 окт. 1987 г. Москва: Наука, 1988а. С. 62–67.
10. Коломийцев Н. П. Результаты изучения экологии мандаринки – *Aix galericulata* в Лазовском заповеднике (Южное Приморье) // Редкие птицы Дальнего Востока и их охрана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988б. С. 5–22.
11. Коломийцев Н. П. Проблема сохранения генофонда животных // Экологические проблемы охраны живой природы: Тез. докл. Всесоюз. конф. Москва, 1990а. Ч. 1. С. 96–97.
12. Коломийцев Н. П. К методике учета чешуйчатого крохала (*Mergus squamatus*) и мандаринки (*Aix galericulata*) // Современная орнитология – 1990. Москва: Наука, 1990б. С. 217–221.
13. Коломийцев Н. П. Зимовка короткопалого буюльбуля на юге Восточного Приморья // Материалы 10-й Всесоюз. орнитол. конф. (г. Витебск, 17–20 сентября 1991 г.): в 2 ч. Ч. 2. Стендовые сообщ. Кн. 1. Минск: Наука и техника, 1991а. С. 291.
14. Коломийцев Н. П. О попытках выкармливания пустельгой и ушастой совой птенцов воробьиных птиц // Материалы 10-й Всесоюз. орнитол. конф., г. Витебск, 17–20 сентября 1991: в 2 ч. Ч. 2. Стендовые сообщ. Кн. 1. Минск: Наука и техника, 1991б. С. 291–292.
15. Коломийцев Н. П. К биологии чешуйчатого крохала в бассейне реки Киевки (Южное Приморье) // Орнитологические исследования в заповедниках. Сер. «Проблемы заповедного дела». Москва: Наука, 1992. Вып. 5. С. 68–83.
16. Коломийцев Н. П. Новые данные о линьке чешуйчатого крохала *Mergus squamatus* // Русский орнитол. журнал. 1995. Т. 4, № 1–2. С. 19–23.
17. Коломийцев Н. П. Гнездящиеся птицы водноболотных станций восточных склонов Южного Сихотэ-Алиня // Русский орнитол. журнал. 2005. Т. 14, № 286. С. 370–377.
18. Коломийцев Н. П. О попытках выкармливания пустельгой *Falco tinnunculus* и ушастой совой *Asio otus* птенцов воробьиных птиц // Русский орнитол. журнал. 2008а. Т. 17, № 396. С. 93–94.
19. Коломийцев Н. П. Зимовка короткопалого буюльбуля *Microscelis amaurotis* на юге Восточного Приморья // Русский орнитол. журнал. 2008б. Т. 17, № 400. С. 230–231.
20. Коломийцев Н. П. С чего началась жизнь: новая теория происхождения жизни на Земле // Биология: теория и практика: Материалы межрегион. науч.-практ. заоч. конф., посв. 15-летию каф. биологии Череповец. гос. ун-та (Череповец, 5–8 декабря 2011 г.) / ответственный редактор А. П. Добрынин. Череповец: ЧГУ, 2012. С. 82–87.
21. Коломийцев Н. П. «Среда» и «условия существования»: новое осмысление старых терминов применительно к экологии // Череповецкие научные чтения – 2012: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Череповец, 1 – 2 ноября 2012 г.): В 3 ч. Ч. 3. Естественные, экономические, технические науки и математика / Отв. ред. Н. П. Павлова. Череповец: ЧГУ, 2013а. С. 116–118.

22. Коломийцев Н. П. К методике учета чешуйчатого крохала *Mergus squamatus* и мандаринки *Aix galericulata* // Русский орнитол. журн. 2013б. Т. 22 (929). С. 2831–2835.

23. Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я. Материалы к биологии филина – *Bubo bubo* (L.) в Лазовском заповеднике // Редкие и исчезающие птицы Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 81–84.

24. Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я. Материалы к биологии филина *Bubo bubo* в Лазовском заповеднике (Южное Приморье) // Русский орнитол. журн. 2007. Т. 16, № 364. С. 835–840.

25. Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я. Запаздывание материализации генетической информации – еще один фактор биологической эволюции // Чарльз Дарвин и современная биология: Тр. Междунар. науч. конф. (21–23 сентября 2009 г., Санкт-Петербург). Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. С. 796–805.

26. Комиссарова М. Г., М. Н. Кутузов, Н. А. Пакаяшова и др. Кафедра биологии в цифрах и фактах // Биология: теория и практика: Материалы межрегион. науч.-практ. заоч. конф., посв. 15-летию каф. биологии Череповец. гос. ун-та (Череповец, 5–8 декабря 2011 г.) / ответственный редактор А. П. Добрынин. Череповец: ЧГУ, 2012. С. 1–10.

27. Короткова Т. Б., Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я., Харитонов С. В. Динамика популяций Врановых (*Corvidae*) в урбоэкосистеме Череповца в 1990–2010 годы // Череповецкие научные чтения – 2015: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Череповец, 11–12 ноября 2015 г.): в 3 ч. Ч. 3(2). Естественные, экономические, технические науки и математика / ответственный редактор К. А. Хархнин. Череповец: ЧГУ, 2016а. С. 78–81.

28. Короткова Т. Б., Поддубная Н. Я., Коломийцев Н. П. и др. Изменение гнездовой экологии серой вороны (*Corvus cornix* L.) в урбоэкосистеме г. Череповца // Актуальные проблемы экологии и здоровья человека: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Череповец, 6 апреля 2016 г.) / ответственный за выпуск В. Ф. Воробьев. Череповец: ФГБОУ ВПО ЧГУ, 2016б. С. 57–61.

29. Короткова Т. Б., Поддубная Н. Я., Коломийцев Н. П. Вселение сороки (*Pica pica* L.) в экосистему г. Череповца // Принципы экологии. 2016в. Т. 5, № 3. С. 65.

30. Пат. 2013131510/13 Российская Федерация, МПК А01К31/14 (2006. 01). Гнездовой ящик для чешуйчатого крохала – *Mergus squamatus* Gould / Н. П. Коломийцев; Правообладатель ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет». Заявл. 09. 07. 2013; Оpubл. 10. 03. 14.

31. Поддубная Н. Я. Н. П. Коломийцев как исследователь орнитофауны Средней Азии и Дальнего Востока // В. В. Верещагин и Восток: В предчувствии евразийства: Материалы междунар. науч. конф. (Череповец, 26–28 октября 2016 г.). Череповец: ЧГУ, 2016. С. 256–260.

32. Поддубная Н. Я., Коломийцев Н. П. Комбинированный оклад – новый способ учета численности куньих (*Mustelidae*) // Популяционная экология животных: Материалы междунар. конф. «Проблемы популяционной экологии животных», посв. памяти акад. И. А. Шилова. Томск: Томский государственный университет, 2006. С. 400–401.

33. Поддубная Н. Я. и др. Исчезновение европейской норки *Mustela lutreola* в Вологодской области // Принципы экологии. 2016. Т. 5, № 3. С. 126.
34. Степина Е. С., Кашина С. А. Перспективы экосистемных исследований, или как установили правило Поддубной – Коломийцева: и работает ли оно в европейских лесах России // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Астрахань, 25–30 августа 2009 г.). Астрахань: Астраханский университет, 2009. С. 56–60.
35. Kolomiytsev N. P., Poddubnaya N. Ya. The Origin of Life as a Result of Changing the Evolutionary Mechanism // *Rivista di Biologia / Biology Forum*. 2007. V. 100, N. 1. P. 11–16.
36. Kolomiytsev N. P., Poddubnaya N. Ya. The delay in materialization of genetic information as a factor of adaptive evolution // Сб. тез. междунар. науч. конф. «Чарльз Дарвин и современная биология» (Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2009 г.) и «Теория эволюции: между наукой и идеологией. Историко-научные и философско-методологические проблемы эволюционизма» (Санкт-Петербург, 23–25 сентября 2009 г.). 2009. С. 203–205.
37. Kolomiytsev N. P., Poddubnaya N. Ya. The Diffuse Organism as the First Biological System // *Biological Theory*. 2010. V. 5 (1). P. 67–78.
38. Kolomiytsev N. P., Poddubnaya, N. Y. Breeding biology of the Long-billed Plover *Charadrius placidus* in the northern part of its range // *Wader Study Group Bull.* 2014. 121(3). P. 181–185.
39. Kolomiytsev N. P., Poddubnaya N. Ya. The avifauna of the Central Kyzyl Kum in 1970-ies // *Ecosystems of Central Asia under current conditions of socio-economic development: Proceedings of International Conference*. V. 1. Ulaanbaatar (Mongolia), September 8–11. 2015. Ulaanbaatar, 2015. P. 319–323.
40. Korotkova T. B., Poddubnaya N. Ya., Kolomiytsev N. P. The Magpie (*Pica pica* L.) induction in the Cherepovets ecosystem // *Principy èkologii*. 2016. V. 5, № 3. P. 66.
41. Poddubnaya N., Kolomiytsev N., Tsvetkova Yu. et al. The current status of life history of the American mink is the result of its overadaptations // Abstracts. Nordic OIKOS Conference for Ecologists and Evolutionary Biologists. 2nd-4th February 2016, Turku, Finland. Huitu O., Kuusela S., Laaksonen T. & Ruotsalainen A. L. (eds.). 2016a. P. 39.
42. Poddubnaya N., Kolomiytsev N., Bayramova V. et al. Shrews in the diet of carnivorous birds and mammals // Programme and Abstract Book. International Colloquium Biology of the Soricidae IV, Poznań, Poland, 11–14 September 2016. 2016b. P. 26.
43. Poddubnaya N., Kolomiytsev N. Population dynamics of insectivorous mammals and factors determining them in the southern Sikhote-Alin // Programme and Abstract Book. International Colloquium Biology of the Soricidae IV, Poznań, Poland, 11–14 September 2016. 2016. P. 45.
44. Poddubnaya N. Ya., Kolomiytsev N. P., Senina D. A. et al. Disappearance of the European mink *Mustela lutreola* in Vologda province // *Principy èkologii*. 2016. V. 5, № 3. 2016c. P. 128.

45. Tsvetkova Y. N., Kolobova O. A., Kolomiitsev N. P. et al. The invasion of the american mink (*Neovison vison*) – the example of overadaptations // Чужеродные виды в Голарктике – Борок-3: Материалы IV Междунар. симп., п. Борок, Ярославской области, Россия 22–28 сентября 2013 года. Борок, 2013. P. 187.

УДК 57

**Изменчивость окружающей среды во времени и пространстве
определяет характер видового богатства вдоль широтных,
высотных и глубинных градиентов**

Н. П. Коломийцев, Н. Я. Поддубная

Череповецкий государственный университета, Череповец, Россия
poddoubnaia@mail.ru

Аннотация. Эта статья направлена на то, чтобы пролить свет на основные причины широтного изменения видового разнообразия, асимметрию в видовом богатстве между северным и южным полушариями и различные закономерности видового богатства вдоль горных и континентальных склонов, которые в настоящее время представляют центральный интерес для экологии. С этой целью мы подтверждаем, развиваем и унифицируем идеи Janzen's о более высокой верности тропических организмов своей среде обитания, представления Sanders о временных и пространственных вариациях окружающей среды и их влиянии друг на друга в плане широты адаптации видов, гипотезу широты ниши и перекрытие ниш, теории климатической стабильности, конкурентного исключения и конкурентной дивергенции с включением некоторых элементов градиентной модели диверсификации. Мы утверждаем, что в процессе адаптации к широкому спектру одних и тех же факторов окружающей среды во времени высокоширотные виды также адаптируются к широкому спектру этих факторов в пространстве. В результате они образуют не только очень широкие, но и широко перекрывающиеся экологические ниши. Это в конечном итоге приводит к конкурентному вымиранию большей части видов и общему обеднению биоты. Напротив, относительно стабильная окружающая среда позволяет видам все больше и больше двигаться в направлении специализации с одновременным сужением их экологических ниш, что, в свою очередь, приводит к уменьшению перекрытия ниш и большей концентрации видов в сообществах. В тропических горах и на континентальном склоне, где окружающая среда достаточно стабильна, степень ее дифференциации зависит главным

образом от крутизны склона. А поскольку самые крутые склоны, как правило, расположены на промежуточных высотах и промежуточных глубинах батиаля, именно там созданы условия для наивысшей специализации. Эти идеи могут стать основой для новых подходов к сохранению биоразнообразия в различных регионах.

Ключевые слова: конкурентная дивергенция, конкурентное вымирание, изменчивость окружающей среды, перекрытие ниш, специализация, упаковка видов, видовое богатство

Благодарности

Мы благодарим сотрудников кафедры биологии Череповецкого государственного университета за полезные дискуссии и ценные замечания.

Перевод статьи: Kolomiytsev, N. And Poddubnaya, N. 2018. Temporal and spatial variability of environments drive the patterns of species richness along latitudinal, elevational, and depth gradients. *Bio. Comm.* 63(3): 189–201. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2018.305>

Введение

Общее увеличение видового богатства от высоких широт к экваториальному региону, которое более выражено в лесных сообществах [25, 151] и мелководных прибрежных районах и на шельфе [130], является одной из наиболее давних, хорошо известных и весьма общих пространственных закономерностей экологии. Однако это увеличение не всегда является монотонным [18, 130] и часто серьезно нарушается различными факторами. На суше наиболее важными из таких факторов являются дефицит воды и экстремальные температуры [12, 101, 143], на океанских просторах – нехватка растворенного кислорода [77], океанические течения [107, 149], процессы апвеллинга [86, 107], сток крупных рек [86, 149]. Кроме того, широтное изменение видового разнообразия может быть различным для разных таксонов [86, 115] и некоторых немногочисленных таксонов, например, настоящих тюленей [158], пингвинов [154], гагар [38], куликов [16, 63], лампропельтиновых змей [117], пресноводных амфипод [147]; в силу особенностей их естественной истории и биологии, демонстрируют прямо противоположную тенденцию, или как некоторые группы морского зоопланктона [9, 132], паразитические осы семейства Ichneumonidae [62], жуки-могильщики [109], ушастые тюлени [158] и некоторые другие достигают пика видового разнообразия в средних широтах. Тем не менее, широтный сдвиг в видовом богатстве обнаружен во всех основных местообитаниях, включая пресноводные [35, 116] и пелагическую зону открытого океана [4, 86], и наблюдается как у растений, так и у экзотермических и

эндотермических животных [127]. Это было установлено даже в морском бактериальном планктоне [36] и в некоторых широко распространенных семействах и родах [26, 137, 140]. Более того, на примере птиц было показано, что не только видовое разнообразие, но и количество подвидов внутри вида и фенотипическая дифференциация популяций выше в более низких широтах [89].

К настоящему времени изучению и описанию моделей широтного разнообразия видов посвящен обширный объем литературы, и было предложено множество конкурирующих или дополняющих друг друга объяснительных гипотез [30, 59, 83, 95, 110, 113, 156, 160]. Однако окончательное решение этой проблемы остается неуловимым. Более того, в конце двадцатого – начале двадцать первого века к этому проблемному пространству добавилась довольно загадочная проблема горбовидных структур видового богатства вдоль перепадов высот и глубин. Здесь мы стремимся пролить свет на основные факторы и процессы, определяющие структуру видового разнообразия.

Диапазон сезонной изменчивости климата и широта видовых ниш

На первый взгляд объяснение широтного разнообразия кажется довольно очевидным: при перемещении от полюсов к экватору окружающая среда становится более благоприятной для живых существ, прежде всего, в отношении таких важных климатических факторов, как солнечная радиация и температура. Эти факторы в сочетании с достаточной доступностью воды могли бы (при отсутствии других ограничений) привести к увеличению первичной продуктивности. Более продуктивные районы могут поддерживать большее число особей как растений, так и животных, которые зависят от растительных ресурсов, и, как следствие, большее количество видов может быть в состоянии поддерживать жизнеспособные популяции. Подобные взгляды имеют долгую историю. Два столетия назад Александр фон Гумбольдт (Alexander von Humboldt 1808) писал, что с увеличением тепла от полюсов к экватору постепенно возрастают также сила жизни и жизнеспособность. Это объяснение, с различными дополнениями и модификациями, получило широкое признание среди экологов и биогеографов за последние несколько десятилетий [17, 30, 60, 127, 159].

Во многих исследованиях действительно была обнаружена значительная положительная корреляция между потреблением солнечной энергии (оцененной непосредственно или с помощью различных показателей, таких как температура окружающей среды, годовое суммарное испарение, первичная продуктивность, биомасса) и видовым разнообразием [19, 79, 130, 136, 146]. Однако, когда используемые данные были собраны из большего числа тематических исследований, которые представляли раз-

личные климатические зоны и экосистемы мира, а также различные пространственные структуры, форма взаимосвязи между продуктивностью (или биомассой) и видовым богатством была переменной и могла быть любой из следующих: линейно положительной, унимодальной, мультимодальной, U-образной, линейно отрицательной или несуществующей [3, 43, 94, 108]. Так, наиболее продуктивные регионы, как, например, тихоокеанское побережье южного полушария между 10° и 40° южной широты [148], могут иметь довольно низкое видовое разнообразие. Angel [4] также заявил, что высокое видовое богатство в открытых океанах, как правило, связано с регионами низкой продуктивности. Таким образом, представляется, что конечная причина обилия видов в природе существенно отличается от причины видового разнообразия. Количество доступной энергии, воды, минералов и т. п. непосредственно влияет на первичную продуктивность экосистем и общую биомассу организмов, населяющих данную территорию, которая меняется скорее как результат изменения числа особей существующих видов [15, 17, 124], чем как результат изменения числа видов вследствие увеличения темпов диверсификации [152], интродукции чужеродных организмов или исчезновения некоторых редких видов [60] и видов с более высокими энергетическими потребностями в условиях ограничения энергии [17].

Многие исследователи [25, 61, 67, 83, 113, 137, 141, 144] сходятся во мнении, что главное значение имеет не столько благоприятность окружающей среды, сколько низкая изменчивость климата. Их взгляды таковы: менее стабильная и поддающаяся прогнозированию физическая среда высоких и умеренных широт препятствует специализации видов, т. е. стимулирует отбор для более широкой экологической ниши; напротив, устойчивая, гораздо более предсказуемая, разнообразная и конкурентная среда низких широт благоприятствует большей специализации и позволяет видам занимать узкие ниши. Это утверждение в свое время оказало глубокое влияние на исследователей, но оно нуждается в некоторой доработке.

Как указывал Шмальгаузен [135], а затем это было обосновано Mac Arthur и Wilson [85] и Pianka [111], непредсказуемые изменения в физической среде и вызванная ими катастрофическая элиминация ответственны главным образом за возникновение некоторых специфических особенностей r-организмов, таких как высокая скорость размножения, ускоренное развитие и короткая продолжительность жизни, но оказывают лишь минимальное влияние на ширину экологической ниши. Однако организмы, как правило, способны довольно легко адаптироваться к предсказуемым (регулярным) или достаточно часто повторяющимся (по сравнению с продолжительностью интервалов между их поколениями) изменениям окру-

жающей среды, которые могут вызвать долгосрочные тенденции естественного отбора. Имея достаточно времени для адаптации, живые существа могут проявлять удивительную способность постепенно улучшать условия своего существования в таких средах, даже если окружающая среда становится более враждебной или кажется совершенно непригодной для жизни [66], например, в гиперсоленых озерах, гипертермальных источниках и на побережье Антарктиды. Таким образом, ширина экологической ниши вида, в первую очередь, определяется периодическими колебаниями окружающей среды, вызванными вращением Луны вокруг Земли и Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. В иерархии таких колебаний сезонная изменчивость климата, являющаяся самым масштабным периодическим явлением в природе, должна играть доминирующую роль.

Чтобы выживать и размножаться в высоких широтах, любой вид должен быть достаточно хорошо адаптирован ко всем изменениям окружающей среды, с которыми он сталкивается как в течение года, так и в течение своей жизни [25]. Но когда виды умеренных и высокоширотных районов адаптируются к широкому диапазону временных вариаций факторов окружающей среды, они также становятся адаптированными к широкому разнообразию окружающей среды в пространстве [42, 61, 133, 144], то есть становятся более генерализованными [113, 144]. При этом они не только значительно расширяют свою климатическую и физиологическую толерантность [2, 144], а часто и географические ареалы, особенно в меридиональном направлении [34, 120, 131, 144], но и имеют возможность заселять практически весь набор местообитаний в пределах своих ареалов [133, 144] и расширять свой рацион [83], биоценологические взаимоотношения и диапазон поведенческих реакций. Таким образом, в процессе адаптации к широкому разнообразию окружающей среды во времени виды умеренных и высокоширотных районов расширяют свои экологические ниши в целом, и благодаря большим сезонным колебаниям параметров окружающей среды нишевые пространства используются ими достаточно равномерно (рис. 1А). В качестве примеров таких видов можно упомянуть полярную иву, карликовые березы, лиственницы, ивовую куропатку, карibu, росомаху, песца, горностаю, леммингов.

Напротив, небольшой диапазон сезонных колебаний окружающей среды, которые могут быть довольно суровыми, скорее чем "биологический стресс" [133] или повышенная доступность благоприятствуемых ресурсов [29, 30], должны открыть видам возможности для увеличения не только их соответствия своим местам обитания [61], но также и совершенствование своих адаптаций, поскольку предполагается, что специализация позволяет видам более эффективно использовать свои ресурсы [81, 97] и благодаря

этому они могут превосходить других [25, 81, 137]. Биологический отбор в такой ситуации должен благоприятствовать особям, обладающим более узкими, но более совершенными приспособлениями к наиболее распространенным параметрам окружающей среды. В результате этот вид получил бы максимальное преимущество перед своими конкурентами в основных экологических требованиях, но неизбежно ослабил бы свои позиции на периферии своих ниш. Другими словами, в районах со слабыми сезонными изменениями климата виды используют центральные зоны своих экологических ниш более интенсивно, чем периферические, то есть их использование нишевых пространств должно аппроксимироваться (приближаться) к нормально вероятностной плотности распределения, но с более узкой, по сравнению с полярными и умеренными видами, зоной интенсивного использования (Рис. 1Б). Специализация в таких условиях может быть усилена не только путем перехода видов от использования широкого спектра ресурсов к использованию только предпочитаемых ими [30], но и путем углубления адаптации видов к любым доступным ресурсам и перевода их, таким образом, из категории второстепенных или случайных в категорию благоприятствуемых. Следовательно, с уменьшением климатической сезонности тенденция видов сужать свои ниши и укреплять их специализацию вполне предсказуема [67, 83]. Действительно, было обнаружено, что тропические виды обитают в значительно более узких температурных режимах, чем умеренные [13, 55, 72] и аллопатрические сестринские виды в тропиках демонстрируют б'ольшую климатическую специализацию, чем в умеренной зоне [27, 72, 73, 137] (рис. 2).

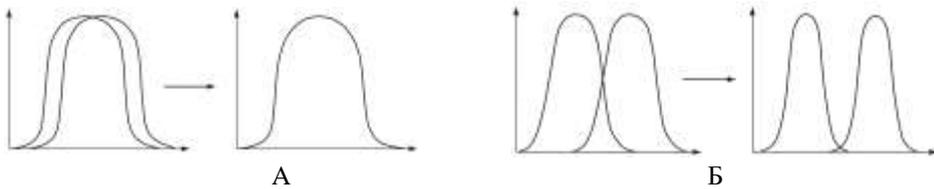


Рис. 1. Эволюционные результаты межвидовой конкуренции в зависимости от степени перекрытия видовых ниш: в случае большого перекрытия между нишами в средах с большим диапазоном регулярной изменчивости во времени (А), в случае небольшого перекрытия ниш в относительно стабильных средах (Б)

Однако необходимо отметить, что в исследованиях также наблюдается обратная тенденция, когда, например, взаимодействия растений-опылителей становятся более специализированными с увеличением широты [104, 142]. Эти факты могут быть объяснены прогрессирующим обеднением флоры с продвижением на север. В то же время обобщение этих

насекомых-опылителей по отношению ко многим другим факторам окружающей среды, по всей видимости, должно сохраняться в высоких широтах, поскольку это важно для их выживания. Таким образом, относительно стабильный (несезонный) климат благоприятствует сегрегации и сужению экологических ниш видов (рис. 1Б), а межвидовые взаимодействия, особенно конкуренция, которые всегда имеют место внутри биологических сообществ, могут дополнительно усилить этот процесс посредством "расхождения признаков" [20] теперь называемом "смещением признака" [11, 60].

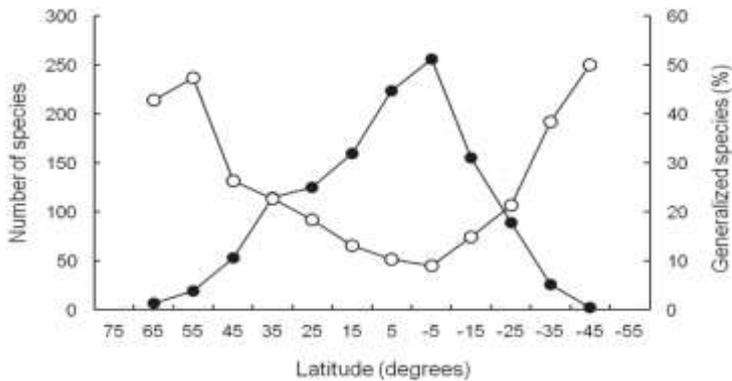


Рис. 2. Широтные градиенты видового богатства (сплошные круги) и специализации питания (открытые круги) бабочек семейства Papilionidae. Данные объединяются в ячейки по 10°; значение для каждого широтного сегмента отображается в середине этого сегмента. Отрицательные широты находятся в южном полушарии. Изменено по Scribner (1973)

Степень перекрытия ниш и видовое богатство региона

Вопреки мнению некоторых авторов [69, 84], которые полагали, что виды, подверженные узкому диапазону сезонной изменчивости климата, должны иметь большее перекрытие ниш и “менее исключительные требования”, мы предполагаем, что уменьшение ширины ниш и специализация неизбежно приводят к уменьшению перекрытия ниш (рис. 1Б). Это частично подтверждается исследованиями [55]. Поэтому утверждение о том, что в тропиках существует чрезвычайно острая конкуренция и другие биотические взаимодействия между обитателями [25, 133, 153] также не кажется бесспорным.

Сужение ниш многих растений и животных и их сегрегация – “верность видов своим средам обитания” или “биотическая верность видов” в соответствии с терминологией Janzen’ (1963) – позволили бы большему числу видов сосуществовать в сообществе [67], то есть привели бы к уве-

личению видового разнообразия в низких широтах. Реальность вышеуказанного сценария была подтверждена рядом полевых и теоретических исследований [4, 5, 53, 79, 80, 101, 133]. Джунгли, тропические коралловые рифы, великие озера тропической Африки, дно на больших глубинах с их очень стабильной средой обитания славятся своим огромным видовым разнообразием. Интересно отметить, что в субтропических горах в высотных поясах с наибольшей сезонностью обитает меньше видов, чем в районах с меньшей сезонностью [161].

В низких широтах сужение и сегрегация экологических ниш происходит также на уровне подвидов и популяций. На это указывают как снижение потока генов между тропическими популяциями, так и их большая изоляция из-за расстояния [88, 102], а также меньшая степень географического совпадения между распределениями подвидов одного и того же вида [120]. Это создает условия, благоприятные для аллопатрического и парапатрического видообразования [13], в результате чего сообщества в тропическом поясе могут быстро перенасытиться видами.

Тенденция к уменьшению среднего размера географического ареала также проявляется в низких широтах [35, 76, 131, 144]. Однако прямой зависимости между размером ареала видов и шириной их ниши может и не существовать [126, 155], а взаимосвязь между размерами ареалов видов и видовым богатством сообщества, хотя и была обнаружена, не является сильной [106]. Последнее вполне объяснимо: симпатрические виды могут иметь хорошо обособленные ниши и занимать разные места обитания или микрообитания в пределах одной и той же территории. А поскольку климат и другие факторы окружающей среды в тропиках очень однородны на больших территориях, многие тропические виды имеют довольно обширное распространение, которое часто не меньше, чем у высокоширотных видов [24, 37, 39, 114]. Следует отметить, что генерализация в тропиках не так невозможна, как специализация в полярных районах. В тропической зоне виды с широкими экологическими толерантностями часто сосуществуют со специалистами по местообитаниям, не снижая богатства совместно занимаемых местообитаний [70].

В высоких широтах ситуация иная. Различные виды, обитающие там, вынуждены приспосабливаться к широкому спектру сезонных колебаний одних и тех же абиотических и связанных с ними биотических переменных. В результате у них не только очень широкие [25, 67], но и широко перекрывающиеся экологические ниши [76]. Grinnell and Storer [47] пришли к выводу, что если два вида с одинаковыми экологическими пристрастиями поместить в одну и ту же среду обитания, то один или другой быстро исчезнет в результате радикального процесса, который они назва-

ли «конкурентным замещением». Поскольку в большинстве случаев высокоширотные виды не в состоянии избежать межвидовой конкуренции или ослабить ее посредством конкурентной дивергенции – «дивергентного изменения характера» [11, 46] – поскольку в их среде обитания отсутствуют места обитания или ниши, где межвидовая конкуренция слаба и в которые конкурирующие виды могли бы отступить и укорениться, конкуренция в высоких широтах часто приводит к "конкурентному исключению" [40] в форме конкурентного вымирания (рис. 1А). Высокая сезонная и межгодовая изменчивость окружающей среды периодически делает межвидовую конкуренцию особенно острой; Darwin [20] считал ее наиболее эффективной из всех мер сдерживания. Таким образом, лишь очень немногие, наиболее выносливые и адаптированные виды смогли выжить в таких суровых экосистемах, и видовое разнообразие этой зоны претерпело сильное сокращение [56, 76]. Это ответ на вопрос Хатчинсона [60]: “Если мы можем иметь один или два вида из большого семейства, адаптированных к суровым условиям арктического существования, почему мы не можем иметь больше?”

Но поскольку диапазон сезонных колебаний наиболее важных климатических факторов (солнечной радиации, температуры окружающей среды) уменьшается по градиенту от полюсов к экватору, видовое богатство сообществ увеличивается по градиенту в том же направлении. Широтный градиент видового разнообразия мог бы быть еще круче, но снижение видового разнообразия в умеренных и особенно арктических регионах смягчается ограничением периодов активности многих организмов и эволюцией миграционных стратегий у птиц, некоторых млекопитающих и нескольких насекомых [42, 54, 65, 87, 98].

Из-за высокой степени генерализации выжившие высокоширотные виды способны занимать почти все доступные места обитания, и в результате, как правило, имеют большие ареалы и значительное число особей [113]. Кроме того, жесткий отбор, вызванный как суровыми абиотическими факторами, так и интенсивными биотическими взаимодействиями, мог бы привести к ускоренной адаптивной эволюции высокоширотных организмов и, таким образом, способствовать более быстрому, чем это предполагают некоторые авторы [31], формированию зрелых равновесных сообществ в полярных и среднеширотных регионах.

В верхних слоях океанов, где сезонные колебания, хотя и менее выражены, но все же сохраняются, видовое разнообразие демонстрирует четкий широтный градиент [130, 157]. Глубоководная среда относительно хорошо изолирована от поверхностных сезонных климатических изменений толстым водным покровом; поэтому сезонные колебания здесь, как

правило, слабы [100]. Но такой значительный фактор, как поток органического материала из фотической зоны, который изменяется в зависимости от сезонных колебаний первичной продуктивности поверхностных вод, демонстрирует довольно отчетливый широтный градиент амплитуды сезонной изменчивости [7]. Этого, по-видимому, достаточно для формирования широтных градиентов видового богатства глубоководных районов, что было обнаружено в некоторых исследованиях [125].

Поскольку в южном полушарии значительно больше площади океана и гораздо меньше суши, чем в северном полушарии, его климат более ровный и менее сезонный на эквивалентных широтах, хотя он может быть влажным и менее теплым [20, 39, 50]. Соответственно, пики видового богатства некоторых таксонов в южном полушарии смещаются от экваториальных диапазонов к югу, и общее видовое разнообразие уменьшается медленнее по направлению к Южному полюсу [8, 20, 28, 114]. Другими словами, Земля имеет "грушевидную форму" с точки зрения биоразнообразия [114].

Факторы, дополнительно способствующие увеличению видового разнообразия в относительно стабильной среде

Согласно идеям, которые были развиты выше, особенно узкие и наиболее изолированные ниши, скорее всего, будут созданы видами в тех областях, где окружающая среда наиболее стабильна или где относительно небольшая амплитуда колебаний окружающей среды во времени сочетается с неоднородностью физической среды в пространстве. Во втором случае речь должна идти не только о топографической неоднородности, создающей физические [90] или физиологические [32, 42, 61, 71] барьеры для расселения организмов, которые не часто являются непреодолимыми [14, 33], но прежде всего о пространственной неоднородности влияния физиологически важных факторов, которые в относительно стабильных средах могут формировать эволюционную тенденцию к усилению специализации и дифференциации групп организмов, тем самым увеличивая возможности для парапатрического и аллопатрического видообразования [13], независимо от способности организма преодолевать определенные географические или физиологические препятствия. Эти процессы сопровождаются сужением экологических ниш (см. предыдущие части). Кроме того, повышенная неоднородность окружающей среды позволяет большему числу видов находить надлежащие условия для существования [84]. Все это может привести к большей концентрации видов внутри сообществ.

Сочетания малой амплитуды колебаний окружающей среды во времени и неоднородности физической среды в пространстве возникают, например, на склонах тропических гор, где существуют высотные градиенты таких

факторов, как температура, солнечная радиация, парциальное давление кислорода и углекислого газа, или в тропических озерах, реках и мелководьях океанов, где существуют градиенты глубины, связанные с уменьшением освещенности, температуры и концентрации кислорода, или в глубоководных районах моря, где градиенты гидростатического давления распространены повсеместно. Действительно, многие очаги биоразнообразия и эндемизма в тропиках находятся в горных регионах [6, 8, 22, 23, 119], и именно в таких регионах содержится наибольшее количество молодых сестринских видов [49, 128]. Мы можем ожидать, что чем круче горный склон и, следовательно, чем больше доля изменений окружающей среды на единицу длины склона (или горизонтального расстояния), тем выше региональное видовое разнообразие. Это подтверждается полевыми наблюдениями. Таким образом, в тропических и субтропических горах видовое богатство таких различных организмов, как различные растения, насекомые, пресноводные рыбы, амфибии, рептилии, птицы и млекопитающие, проявляется вдоль склонов, за очень немногими заметными исключениями [45], характерными горбовидными паттернами с вершинами на некоторых промежуточных высотах, в основном между 500 и 2000 м над уровнем моря [1, 14, 44, 51, 52, 74, 75, 78, 99, 105, 143] – то есть именно там, где склон часто самый крутой и, соответственно, экологическая дифференциация наибольшая. Другие тенденции увеличения видового богатства, такие как высокогорное плато, небольшой второй горб и так далее [52, 92], возможно, объясняются специфическими горными профилями. Экологические характеристики таксонов [14, 44, 45, 74, 99] и региональные и локальные климатические различия [118] также могут способствовать формированию связи между видовым богатством и высотой. Увеличение видового богатства на средних высотах тропических гор сопровождается увеличением числа видов, ареал которых ограничен [1, 121], и специалистами по местообитаниям [1].

По достижении определенной высоты влияние неоднородности окружающей среды в пространстве на видовое богатство начинает перекрываться эффектом суточной изменчивости окружающей среды, который может быть аналогичен эффекту годовой изменчивости окружающей среды [42, 134]. Наряду с этим организмы должны расширять диапазон своей физиологической толерантности [42] и, в некоторых случаях, высотные диапазоны [14, 91], то есть расширять свои экологические ниши. А расширение экологических ниш, занимаемых видами, и увеличение их перекрытия, в свою очередь, должны привести к усилению межвидовой конкуренции с последующим вымиранием некоторых видов и снижением видового разнообразия, как это происходит в высоких широтах (рис. 1А). Снижение

с высотой пригодности окружающей среды для ряда таксонов [14, 91], по-видимому, еще больше усиливает этот эффект.

Несколько ранее [122] образцы горбовидных кривых разнообразия сходных широтным были найдены в бентической фауне вдоль градиента глубин в батимальной зоне, где окружающая среда является афотической, сезонные колебания температуры почти отсутствуют, а гидростатическое давление играет ведущую роль в определении физиологических барьеров для расселения организмов, действующего аналогично температуре в горных хребтах наземных частей света. Позже было обнаружено, что различные донные организмы, такие как нематоды, полихеты, моллюски, ракообразные, иглокожие, рыбы демонстрируют максимальное разнообразие на средних глубинах от 500 до 4000 м, обычно между 1000 и 3000 м [10, 48, 103 123]. Донные виды строго связаны с поверхностью морского дна и имеют среду, стратификация которой возрастает непосредственно с увеличением уклона морского дна, а склоны между 500 и 4000 м ограничены областью континентального склона между разломом шельфа и абиссальной равниной [93], то есть местами, где океанское дно имеет самые крутые склоны. Следовательно, существует крутой градиент давления, который приводит к максимальной вертикальной стратификации среды обитания донных организмов. Многие другие факторы окружающей среды, несомненно, оказывают модифицирующее воздействие на глубинные закономерности видовой разнообразия; экологические особенности организмов также играют важную роль в формировании этих закономерностей. По всем этим причинам различные таксоны в одном и том же пространстве [48, 103, 123] и одни и те же таксоны в разных регионах [145] могут достигать своего максимального разнообразия на разных глубинах. Так же, как и в среднем поясе гор, увеличение видовой богатства на средних глубинах сопровождается увеличением числа эндемиков и видов с узкими и дискретными ареалами [64].

В относительно стабильной водной среде пики видовой богатства могут быть результатом не только повышенного градиента гидростатического давления, но и повышенных градиентов других факторов. Таким образом, в светозависимых коралловых сообществах резкое увеличение разнообразия кораллов и других сидячих организмов от поверхности до 5-10 м [58] может быть результатом перекрывающихся градиентов волновых возмущений и доступности света, в то время как самые высокие уровни их разнообразия наблюдающиеся в диапазоне глубин 15 до 30 м [57, 139] в значительной степени определяется доступностью света и профилем рифа (рис. 3).

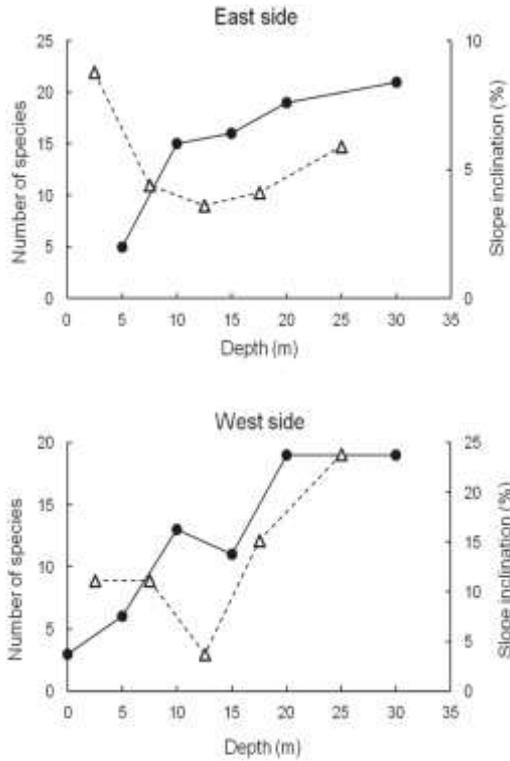


Рис. 3. Взаимосвязь между видовым богатством всех сидячих организмов (сплошная линия с кружками) на переднем рифе в заливе Дискавери, Ямайка, и крутизной склонов рифа (пунктирная линия с треугольниками). Графики вверху относятся к относительно пологому склону восточной стороны переднего края. Приведенные ниже графики показывают более крутой склон западной стороны переднего рифа. Модифицировано по материалам Huston [58]

Заклучение

Таким образом, как широтный сдвиг в видовом разнообразии, так и асимметрия в видовом богатстве между северным и южным полушариями, а также различные модели видового богатства вдоль горных и континентальных склонов могут быть вполне правдоподобно объяснены различиями в адаптивных стратегиях видов и различными результатами межвидовой конкуренции в средах с различными диапазонами регулярной изменчивости во времени и разной степени пространственной дифференциации. Относительно стабильная окружающая среда позволяет видам все больше и больше двигаться в направлении специализации с одновременным сужением их экологических ниш, что, в свою очередь, приводит к уменьшению перекрытия ниш и большей концентрации видов в сообществах.

Межвидовая конкуренция и пространственная дифференциация окружающей среды могут дополнительно усилить эти процессы.

Напротив, широкий спектр периодических изменений окружающей среды во времени приведет к тому, что различные виды будут иметь не только очень большие, но и широко перекрывающиеся экологические ниши. В результате межвидовая конкуренция в таких средах, как правило, становится более интенсивной, поскольку в этих средах обычно отсутствуют места обитания или ниши, в которые конкурирующие виды могли бы отступить и укорениться. Результатом межвидовой конкуренции в таких условиях неизбежно станет конкурентное вымирание [40, 47] большей части видов и общее обеднение биоты [56, 76].

В тропических горах и на континентальном склоне, где окружающая среда достаточно стабильна во времени, степень ее дифференциации зависит главным образом от крутизны склона. А поскольку самые крутые склоны, как правило, расположены на промежуточных высотах и промежуточных глубинах батиаля, именно там существуют условия для наивысшей специализации и максимально плотного скопления видов. Это, в сочетании с возросшими возможностями для парапатрического и аллопатрического видообразования [13], может привести к появлению большого количества сосуществующих видов в этих районах.

Эти идеи можно назвать «пространство-время адаптационной теорией» или «адаптационной теорией в пространстве и времени». Мы надеемся, что это позволит нам расширить наше понимание основных механизмов, лежащих в основе моделей видового богатства, побудит исследователей проверить связь между высотными и батиметрическими моделями разнообразия и углом наклона склона гор или морского дна и обеспечит основу для новых подходов к сохранению биоразнообразия как различных регионов, так и планеты в целом.

Список литературы

1. Acharya B. K., Sanders N. J., Vijayan L., Chettri B. 2011. Elevational gradients in bird diversity in the East-ern Himalaya: an evaluation of distribution patterns and their underlying mechanisms. PLoS ONE 6:e29097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029097>.
2. Addo-Bediako A. S., Chown S. L., Gaston K. J. 2000. Thermal tolerance, climatic variability and latitude. Proceedings of the Royal Society B 267:739-745. DOI: 10.1098/rspb.2000.1065.
3. Adler P. B., Seabloom E. W., Borer E. T., Hillebrand H., ... Yang L. H. 2011. Productivity is a poor predictor of plant species richness. Science 333:1750-1753. DOI: 10.1126/science.1204498.

4. Angel M. A. 1993. Biodiversity of the pelagic ocean. *Conservation Biology* 7:760-772. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740760.x>.
5. Archibald S. B., Bossert W. H., Greenwood D. R., Farrell B. D. 2010. Seasonality, the latitudinal gradient of diversity, and Eocene insects. *Paleobiology* 36:374-398. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.10.043>.
6. Barthlott W., Mutke J., Rafiqpoor D., Kier G., Kreft H. 2005. Global Centers of Vascular Plant Diversity. *Nova Acta Leopoldina* 92:61-83.
7. Billet D. S. M., Lampitt R. S., Rice A. L., Mantoura R. F. C. 1983. Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature* 302:520-522. doi:10.1038/302520a0.
8. Blackburn T. M., Gaston K. J. 1996. Spatial patterns in the species richness of birds in the New World. *Ecography* 19:369-376.
9. Boltovskoy D., Gibbons M. J., Hutchings L., Binet D. 1999. In: Boltovskoy, D. (Ed) *South Atlantic zooplankton*, Leiden, Backhuys Publishers 1-42.
10. Boucher G., Lamshead P. J. D. 1995. Ecological biodiversity of marine nematodes in samples from temperate, tropical, and deep-sea regions. *Conservation Biology* 9:1594-1604.
11. Brown W. L. Jr., Wilson E. O. 1956. Character displacement. *Systematic Zoology* 5: 49-64.
12. Buckley L. B., Jetz W. 2007. Environmental and historical constraints on global patterns of amphibian richness. *Proceedings of the Royal Society B* 274:1167-1173. doi: 10.1098/rspb.2006.0436
13. Cadena C. D., Kozak K. H., Gómez J. P., Parra J. L., ... Graham C. H. 2011. Latitude, elevational climatic zonation and speciation in New World vertebrates. *Proceedings of the Royal Society B* 279:194-201. DOI: 10.1098/rspb.2011.0720.
14. Chettri B., Bhupathy S., Acharya B. K. 2010. Distribution pattern of reptiles along an eastern Himalayan elevation gradient, India. *Acta Oecologica* 36:16-22. doi: 10.1016/j.actao.2009.09.004.
15. Clarke, A., Gaston, K. J. 2006. Climate, energy and diversity. *Proceedings of the Royal Society B* 273:2257-2266.
16. Colwell M. A. 2010. *Shorebird ecology, conservation, and management*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles.
17. Cousins S. H. 1989. Species richness and the energy theory. *Nature* 340:350-351. doi: 10.1038/340350b0.
18. Crame J. A. 2000. In: Harper E. M., Taylor J. D., Crame J. A. (Eds) *The evolutionary biology of the Bivalvia*. Geological Society of London, Special Publication, 177, London, Alden Press:347-360.
19. Currie D. J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *American Naturalist* 137:27-49.
20. Darwin C. 1845/2008. *The Voyage of the Beagle*, Cosimo, New York.
21. Darwin C. 1872. *The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, 6th ed, John Murray, London.

22. Davies R. G., Orme C. D. L., Storch D., Olson V. A., ... Gaston K. J. 2007. Topography, energy and the global distribution of bird species richness. *Proceedings of the Royal Society B* 274:1189-1197. DOI: 10. 1098/rspb. 2007. 0046.
23. de Klerk H. M., Crowe T. M., Fjeldså J., Burgess N. D. 2002. Biogeographical patterns of endemic terrestrial Afrotropical birds. *Diversity and Distributions* 8:147-162. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2002.00142.x>.
24. de Oliveira T. G. 1994. Neotropical cats: ecology and conservation, São Luís, Edufma.
25. Dobzhansky Th. 1950. Evolution in the Tropics. *American Scientist* 38: 209-221.
26. Dodge J. D., Marshall H. G. 1994. Biogeographic analysis of the armored planktonic dinoflagellate *Ceratium* in the North Atlantic and adjacent seas. *Journal of Phycology* 30:905-922.
27. Dyer L. A., Singer M. S., Lill J. T., Stireman J. O., ... Coley P. D. 2007. Host specificity of Lepidoptera in tropical and temperate forests. *Nature* 448:696-700. DOI: 10. 1038/nature05884.
28. Eggleton P. 1994. Termites live in a pear-shaped world: a response to Platnick. *Journal of Natural History* 28:1209-1212.
29. Emlin J. M. 1966. The role of time and energy in food preferences. *American Naturalist* 100:611-617.
30. Evans K. L., Warren P. H., Gaston K. J. 2005. Species-energy relationships at the macroecological scale: a review of the mechanisms. *Biological Reviews* 80:1-25.
31. Fischer A. G. 1960. Latitudinal variation in organic diversity. *Evolution* 14:64-81.
32. Fjeldså J., Rahbek C. 2006. Diversification of tanagers, a species-rich bird group, from the lowlands to mon-tane regions of South America. *Integrative and Comparative Biology* 46:72-81.
33. Fjeldså J., Kiure J., Doggart N., Hansen L. A., Perkin A. 2010. Distribution of highland forest birds across a potential dispersal barrier in the Eastern Arc Mountains of Tanzania. *Steenstrupia* 32:1-43.
34. Floeter S. R., Soares-Gomes A. 1999. Biogeographic and species richness patterns of Gastropoda on the southwestern Atlantic. *Revista Brasileira de Biologia* 59:567-575. [http://dx. doi. org/10. 1590/S0034-71081999000400006](http://dx.doi.org/10.1590/S0034-71081999000400006).
35. France R. 1992. The North American latitudinal gradient in species richness and geographical range of freshwater crayfish and amphipods. *American Naturalist* 139:342-354.
36. Fuhrman J. A., Steele J. A., Hewson I., Schwalbach M. S., ... Brown J. H. 2008. A latitudinal diversity gradient in planktonic marine bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105:7774-7778. doi: 10.1073/pnas. 0803070105.
37. Gardner A. L. 2007. *Mammals of South America. Volume 1: Marsupials, Xenarthrans, Shrews and Bats*, Uni-versity of Chicago Press, Chicago.
38. Gaston A. J., Jones I. L. 1998. *The auks: Alcidae*, Oxford University Press, Oxford.

39. Gaston K. J., Chown S. L. 1999. Why Rapoport's rule does not generalise. *Oikos* 84:309-312.
40. Gause G. F. 1934. *The Struggle for Existence*, Williams and Wilkins, Baltimore.
41. Gentry A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geo-graphical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75:1-34.
42. Ghalambor C. K., Huey R. B., Martin P. R., Tewksbury J. J., Wang G. 2006. Are mountain passes higher in the tropics? Janzen's hypothesis revisited. *Integrative and Comparative Biology* 46:5-17.
43. Gillman L. N., Wright S. D. 2006. The influence of productivity on the species richness of plants: a critical assessment. *Ecology* 87:1234-1243.
44. Goodman S. M., Rasolonandrasana, B. P. N. 2001. Elevational zonation of birds, insectivores, rodents and pri-mates on the slopes of the Andringitra Massif, Madagascar. *Journal of Natural History* 35:285-305.
45. Graham G. L. 1990. Bats versus birds: comparisons among Peruvian volant vertebrate faunas along an elevational gradient. *Journal of Biogeography* 17:657-668.
46. Grant P. R. 1972. Convergent and divergent character displacement. *Biological Journal of the Linnean Society* 4:39-68.
47. Grinnell J., Storer T. I. 1924. *Animal Life in the Yosemite*, University of California Press, Berkeley.
48. Haedrich R. L., Rowe G. T., Polloni P. T. 1980. The megabenthic fauna in the deep sea south of New England, USA. *Marine Biology* 57:165-179.
49. Hall J. P. W. 2005. Montane speciation patterns in *Ithomiola* butterflies (Lepidoptera: Riodinidae): are they consistently moving up in the world? *Proceedings of the Royal Society B* 272:2457-2466.
50. Hartmann D. L. 1994. *Global physical climatology*, Academic Press, San Diego.
51. Heaney L. R. 2001. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. *Global Ecology and Biogeography* 10:15-39.
52. Herzog S. K., Kessler M., Bach K. 2005. The elevational gradient in Andean bird species richness at the local scale: a foothill peak and a high-elevation plateau. *Ecography* 28:209-222. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03935.x>.
53. Hessler R. R., Sanders H. L. 1967. Faunal diversity in the deep-sea. *Deep Sea Research and Oceanographic* 14:65-78. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(67\)90029-0](https://doi.org/10.1016/0011-7471(67)90029-0).
54. Hoare B. 2009. *Animal migration: remarkable journeys in the wild*, University of California Press, Berkeley.
55. Hua X., Wiens J. J. 2010. Latitudinal variation in speciation mechanisms in frogs. *Evolution* 64:429-443.
56. Huston M. A. 1979. A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist* 113:81-101.
57. Huston M. A. 1985a. Patterns of species diversity on coral reef. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16:149-77.
58. Huston M. A. 1985b. Patterns of species diversity in relation to depth at Discovery Bay, Jamaica. *Bulletin of Marine Science* 37:928-935.

59. Huston M. A. 1994. *Biological diversity*, Cambridge University Press, Cambridge.
60. Hutchinson G. E. 1959. Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals? *American Naturalist* 93:145-159.
61. Janzen D. H. 1967. Why mountain passes are higher in the tropics. *American Naturalist* 101:233-249.
62. Janzen D. H. 1981. The peak in North American ichneumonid species richness lies between 38° and 42° N. *Ecology* 62:532-537.
63. Johnsgard P. A. 1981. *The plovers, sandpipers, and snipes of the world*, University of Nebraska Press, Lincoln.
64. Jones N. S., Sanders H. L. 1972. Distribution of Cumacea in the deep Atlantic. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* 19:737-45.
65. Janzen N., Knudsen E., Holt R., Saether B.-E. 2011. In: Milner-Gulland, E. J., Fryxell, J. M., Sinclair, A. R. E. (Eds) *Animal migration: a synthesis*, Oxford, Oxford University Press 91-109.
66. Kolomiitsev N. P., Poddubnaya N. Ya. 2007. The origin of life as a result of changing the evolutionary mechanism. *Rivista di Biologia / Biology Forum* 100:11-16.
67. Klopfer P. H. 1959. Environmental determinants of faunal diversity. *American Naturalist* 93:337-342.
68. Klopfer P. H., MacArthur R. 1960. Niche size and faunal diversity. *American Naturalist* 94:293-300.
69. Klopfer P. H., MacArthur R. 1961. On the causes of tropical species diversity: niche overlap. *American Naturalist* 95:223-226.
70. Kolasa J., Hewitt C. L., Drake J. A. 1998. Rapoport's rule: an explanation or a byproduct of the latitudinal gradient in species richness? *Biodiversity and Conservation* 7:1447-1455.
71. Kozak K. H., Wiens J. J. 2006. Does niche conservatism promote speciation? A case study in North American salamanders. *Evolution* 60:2604-2621. <https://doi.org/10.1554/06-334.1>.
72. Kozak K. H., Wiens J. J. 2007. Climatic zonation drives latitudinal variation in speciation mechanisms. *Proceedings of the Royal Society B* 274:2995-3003. doi: 10.1098/rspb.2007.1106.
73. Kozak K. H., Wiens J. J. 2010. Accelerated rates of climatic-niche evolution underlie rapid species diversification. *Ecology Letters* 13:1378-1389. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01530.x.
74. Küper W., Kreft H., Nieder J., Köster N., Barthlott W. 2004. Large-scale diversity patterns of vascular epiphytes in Neotropical montane rain forests. *Journal of Biogeography* 31:1477-1487.
75. Larsen T. H., Escobar F., Armbrrecht I. 2011. In: Herzog, SK, Martínez, R, Joergensen, PM & Tiessen, H (Eds) *Climate change effects on the biodiversity of the tropical Andes: an assessment of the status of scientific knowledge*. Brazil and Paris, Inter-American Institute for Global Change Research and Scientific Committee on Problems of the Environment, São José dos Campos: 228-244.

76. Letcher A. J., Harvey P. H. 1994. Variation in geographical range size among mammals of the Palearctic. *American Naturalist* 144:30-42.
77. Levin L. A. 2003. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41:1-45.
78. Li J., He Q., Hua X., Zhou J., Xu H., Chen J., Fu C. 2009. Climate and history explain the species richness peak at mid-elevation for Schizothorax fishes (Cypriniformes: Cyprinidae) distributed in the Tibetan Plateau and its adjacent regions. *Global Ecology and Biogeography* 18:123-136. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00430.x>.
79. Luo Z., Tang S., Li C., Fang H., Hu H., Yang J., Ding J., Jiang Z. 2012. Environmental effects on vertebrate species richness: testing the energy, environmental stability and habitat heterogeneity hypotheses. *PLoS ONE* 7:e35514. doi: 10.1371/journal.pone.0035514.
80. MacArthur J. W. 1975 In: Cody, ML & Diamond, JM (Eds) *Ecology and evolution of communities*, Cambridge, Belknap Press 74-80.
81. MacArthur R. H. 1955. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. *Ecology* 36:533-536.
82. MacArthur R. H. 1970. Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical Population Biology* 1:1-11.
83. MacArthur R. H. 1972. *Geographical ecology: Patterns in the Distribution of Species*, Princeton University Press, Princeton.
84. MacArthur R. H., MacArthur, J. W. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42:594-598.
85. MacArthur R. H., Wilson, E. O. 1967. *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton.
86. Macpherson E. 2002. Large-scale species-richness gradients in the Atlantic Ocean. *Proceedings of the Royal Society B* 95:3699-3702. doi: 10.1098/rspb.2002.2091.
87. Mani M. S. 1968. *Ecology and biogeography of high altitude insects*. Series Entomologica Vol. 4, Dr. W. Junk N. V. Publishers, The Hague.
88. Martin P. R., McKay J. K. 2004. Latitudinal variation in genetic divergence of populations and the potential for future speciation. *Evolution* 58:938-945.
89. Martin P. R., Tewksbury J. J. 2008. Latitudinal variation in subspecific diversification of birds. *Evolution* 62:2775-2788. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00489.x>.
90. Mayr E. 1963. *Animal Species and Evolution*, Harvard University Press, Cambridge.
91. McCain C. M. 2009. Vertebrate range sizes indicate that mountains may be 'higher' in the tropics. *Ecology Letters* 12:550-560.
92. McCain C. M., Grytnes J.-A. 2010. In: *Encyclopedia of Life Sciences*, Chichester, John Wiley and Sons 1-10.
93. Menzies R. J., George R. Y., Rowe G. T. 1973. *Abyssal environment and ecology of the world oceans*, Wiley-Interscience, New York and London.

94. Mittelbach G. G., Steiner C. F., Scheiner S. M., Gross K. L., ... Gough L. 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology* 82:2381-2396.
95. Mittelbach G. G., Schemske D. W., Cornell H. V., Allen A. P., ... Turelli M. 2007. Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology Letters* 10:315-331.
96. Moritz C., Patton J. L., Schneider C. J., Smith T. B. 2000. Diversification of rainforest faunas: an integrated molecular approach. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31:533-563.
97. Morse D. H. 1971. The insectivorous bird as an adaptive strategy. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2:177-200.
98. Newton I. 2008. *The Migration Ecology of Birds*, Academic Press, London.
99. Nor S. M. D. 2001. Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Global Ecology and Biogeography* 10:41-62. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00231.x>
100. Nybakken J. W., Bertness M. D. 2004. *Marine Biology: An Ecological Approach*, 6th ed, Benjamin Cummings, San Francisco.
101. O'Brien E. M. 1993. Climatic gradients in woody plant species richness: towards an explanation based on an analysis of southern Africa's woody flora. *Journal of Biogeography* 20:181-198.
102. Ogden R., Thorpe R. S. 2002. Molecular evidence for ecological speciation in tropical habitats. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99:13612-13615. doi: 10.1073/pnas.212248499.
103. Olabarria C. 2006. Faunal change and bathymetric diversity gradient in deep-sea prosobranchs from Northeastern Atlantic. *Biodiversity and Conservation* 15:3685-3702.
104. Ollerton J., Cranmer L. 2002. Latitudinal trends in plant-pollinator interactions: Are tropical plants more specialized? *Oikos* 98:340-350. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.980215.x>.
105. Oömmen M. A., Shanker K. 2005. Elevational species richness patterns emerge from multiple local scale mechanisms in Himalayan plants. *Ecology* 86:3039-3047. <https://doi.org/10.1890/04-1837>.
106. Orme C. D., Davies R. G., Olson V. A., ... Gaston K. J. 2006. Global patterns of geographic range size in birds. *PLoS Biology* 4:e208. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040208>.
107. Owen R. W. 1981. In: Longhurst, AR (Ed) *Analysis of marine ecosystems*, London, Academic Press 197-233.
108. Pärtel M., Laanisto L., Zobel M. 2007. Contrasting plant productivity-diversity relationships across latitude: the role of evolutionary history. *Ecology* 88:1091-1097. <https://doi.org/10.1890/06-0997>.
109. Peck S. B., Kaulbars M. M. 1987. A synopsis of the distribution of the carrion beetles (Coleoptera: Silphidae) of the conterminous United States. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 188:47-81.

110. Pianka E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of the concepts. *American Naturalist* 100:33-46.
111. Pianka E. R. 1970. On r- and K-selection. *American Naturalist* 104:592-597.
112. Pianka E. R. 1972. r and K Selection or b and d Selection? *American Naturalist* 106:581-588.
113. Pielou E. C. 1979. *Biogeography*, Wiley Interscience, New York.
114. Platnick N. I. 1991. Patterns of biodiversity: tropical vs temperate. *Journal of Natural History* 25:1083-1088.
115. Powney G. D., Grenyer R., Orme C. D. L., Owens I. P. F., Meiri, S. 2010. Hot, dry and different: Australian lizard richness is unlike that of mammals, amphibians and birds. *Global Ecology and Biogeography* 19:386-396. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00521.x>.
116. Pringle C. M. 2000. In: Boon, PJ, Davies, BR & Petts, GE (Eds) *Global Perspectives on River Conservation: Science, Policy and Practice*, Chichester, John Wiley and Sons 371-384.
117. Pyron R. A., Burbrink F. T. 2009. Can the tropical conservatism hypothesis explain temperate species richness patterns? An inverse latitudinal biodiversity gradient in the New World snake tribe Lamproleptini. *Global Ecology and Biogeography* 18:406-415. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2009.00462.x.
118. Rahbek C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18:200-205.
119. Rahbek C., Graves G. R. 2001. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98:4534-4539. <https://doi.org/10.1073/pnas.071034898>.
120. Rapoport E. H. 1982. *Areography: Geographical Strategies of Species*, Pergamon Press, Oxford.
121. Renjifo L. M., Servat G. P., Goerck J. M., Loiselle B. A., Blake J. G. 1997. Patterns of species composition and endemism in the northern Neotropics: a case for conservation of montane avifaunas. *Ornithological Monographs* 48:577-594.
122. Rex M. A. 1973. Deep-sea species diversity: decreased gastropod diversity at abyssal depths. *Science* 181:1051-1053.
123. Rex M. A. 1981. Community structure in the deep-sea benthos. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12:331-353.
124. Rex M. A., Etter R. J. 2010. *Deep-Sea Biodiversity: Pattern and Scale*, Harvard University Press, Cambridge.
125. Rex M. A., Stuart C. T., Coyne G. 2000. Latitudinal gradients of species richness in the deep-sea benthos of the North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 97:4082-4085.
126. Ricklefs R. E., Latham R. E. 1992. Intercontinental correlation of geographical ranges suggests stasis in ecological traits of relict genera of temperate perennial herbs. *American Naturalist* 139:1305-1321.
127. Rosenzweig M. L. 1995. *Species diversity in space and time*, Cambridge University Press, Cambridge.

128. Roy M. S. 1997. Recent diversification of African greenbuls (Pycnonotidae: *Andropadus*) supports a montane speciation model. *Proceedings of the Royal Society B* 264:1337-1344.

129. Roy K., Jablonski D., Valentine J. W. 1994. Eastern Pacific molluscan provinces and latitudinal diversity gradient: No evidence for "Rapoport's rule." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 91:8871-8874.

130. Roy K., Jablonski D., Valentine J. W., Rosenberg G. 1998. Marine latitudinal diversity gradients: tests of causal hypotheses. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 95:3699-3702.

131. Ruggiero A. 1994. Latitudinal correlates of the sizes of mammalian geographical ranges in South America. *Journal of Biogeography* 21:545-559.

132. Rutherford S., D'Hondt, S., Prell, W. 1999. Environmental controls on the geographic distribution of zooplankton diversity. *Nature* 400:749-753.

133. Sanders, H. L. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *American Naturalist* 102:243-282.

134. Sarmiento G. 1986. In: Vuilleumier, F & Monasterio, M (Eds) *High altitude tropical biogeography*, New York, Oxford University Press 11-46.

135. Schmalhausen I. I. 1949. *Factors of Evolution: The Theory of Stabilizing Selection*, Blakiston, Philadelphia.

136. Schmit J. P 2005. Species richness of tropical wood-inhabiting macrofungi provides support for species-energy theory. *Mycologia* 97:751-761.

137. Scriber J. M. 1973. Latitudinal gradients in larval feeding specialization of the world Papilionidae (Lepidoptera). *Psyche* 80:355-373.

138. Shepard, F. P. 1948. *Submarine Geology*, Harper and Brothers, New York.

139. Sheppard C. R. C. 1980. Coral cover, zonation and diversity on reef slopes of Chagos Atolls, and population structures of the major species. *Marine Ecology – Progress Series* 2:193-205.

140. Slansky F. 1972. Latitudinal gradients in species diversity of the New World swallowtail butterflies. *Journal of Research on the Lepidoptera* 11:201-218.

141. Slobodkin L. B., Sanders H. L. 1969. On the contribution of environmental predictability to species diversity. *Brookhaven Symposium in Biology* 22:82-95.

142. Slove J., Janz N. 2010. Phylogenetic analysis of the latitude-niche breadth hypothesis in the butterfly subfamily Nymphalinae. *Ecological Entomology* 35:768-774. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2010.01238.x>.

143. Smith S. A., de Oca A. N. M., Reeder T. W., Wiens T. W. 2007. A phylogenetic perspective on elevational species richness patterns in Middle American treefrogs: why so few species in lowland tropical rainforests? *Evolution* 61:1188-1207. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00085.x>.

144. Stevens G. C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist* 133:240-256.

145. Stuart C. T., Rex M. A., Etter R. J. 2003. In: Tyler, P. A. (Ed) *Ecosystems of the world. Volume 28. Eco-systems of the deep oceans*, Amsterdam, Elsevier 297-313.

146. Turner J. R. G., Gatehouse C. M., Corey C. A. 1987. Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. *Oikos* 48:195-205.

147. Väinölä R., Witt J. D. S., Grabowski M., Bradbury J. H., Jazdzewski K., Sket B. 2008. Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:241-255.
148. Valdovinos C., Navarette S. A., Marquet P. A. 2003. Mollusk species diversity in the Southeastern Pacific: why are there more species towards the pole? *Ecography* 26:139-144.
149. Veron J. E. N. 1995. *Corals in Space and Time: The Biogeography and Evolution of the Scleractinia*, University of the New South Wales Press, New South Wales, Sydney.
150. von Humboldt A. 1808. *Ansichten der Natur: mitwissenschaftlichen Erläuterungen*, J. G. Cotta'schen Buch-handlung, Tübingen.
151. Wallace A. R. 1878. *Tropical nature and other essays*, Macmillan, New York.
152. Wiens J. J. 2007. Global patterns of species richness and diversification in amphibians. *American Naturalist* 170:86-106.
153. Williams C. B. 1964. *Patterns in the balance of nature: and related problems in quantitative ecology*, Academic Press, New York.
154. Williams T. D. 1995. *The penguins: Spheniscidae*, Oxford University Press, Oxford.
155. Williams Y. M., Williams S. E., Alford R. A., Waycott M., Johnson C. N. 2006. Niche breadth and geographical range: ecological compensation for geographical rarity in rainforest frogs. *Biology Letters* 2:532-535. doi: 10.1098/rsbl.2006.0541.
156. Willig M. R., Kaufman D. M., Stevens R. D. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34:273-309.
157. Woodd-Walker R. S., Ward P., Clarke A. 2002. Large scale patterns in diversity and community structure of surface water copepods from the Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 236:189-203.
158. Wozencraft W. C. 2005. In: Wilson, DE, Reeder, DM (Eds) *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference*, 3rd ed, Baltimor, Johns Hopkins University Press 590-601.
159. Wright D. H., Currie D. J., Maurer B. A. 1993. In: Ricklefs, RE & Schluter D (Eds) *Species Diversity in Ecological Communities*, Chicago, University of Chicago Press 66-74.
160. Wright S. J. 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia* 130:1-14. DOI 10.1007/s004420100809.
161. Wu Y., Colwell R. K., Rahbek C., Zhang C., Quan Q., Wang C., Le L. 2013. Explaining the species richness of birds along a subtropical elevational gradient in the Hengduan Mountains. *Journal of Biogeography* 40:2310-2323. DOI: 10.1111/jbi.12177.
162. Young K. R., Leon B. 2007. Tree-line changes along the Andes: implications of spatial patterns and dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 362:263-272. DOI: 10.1098/rstb.2006.1986.

**Паразиты и симбионты брюхоногих моллюсков
Viviparus contectus и *Lymnaea stagnalis***

Е. А. Агеева

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия,
Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
п. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, Россия
elena.ageeva.2019@mail.ru

Аннотация. Статья содержит результаты исследования паразитов и симбионтов брюхоногих пресноводных моллюсков *Viviparus contectus* и *Lymnaea stagnalis*. Доминирующими симбионтами данных моллюсков являлись пиявка *Helobdella stagnalis* и олигохета *Chaetogaster limnaei*. В ходе исследования установлены зависимости между размерами моллюсков и численностью симбионтов.

Ключевые слова: паразитология, брюхоногие моллюски, симбионты, паразиты, олигохеты, пиявки

Abstract. The article contains the investigation results of parasites and symbionts of freshwater gastropods *Viviparus contectus* and *Lymnaea stagnalis*. The dominant symbionts of these molluscs were the leech *Helobdella stagnalis* and oligochaete *Chaetogaster limnaei*. In the course of research, relationships were established between the size of mollusks and the number of symbionts.

Keywords: parasitology, gastropoda, symbionts, parasites, oligochaete, leeches

Симбиотические ассоциации повсеместно распространены в природе и играют фундаментальную роль в экологии и эволюции. В широком смысле симбиоз определяется как тесное взаимодействие между различными организмами независимо от того является ли результат полезным, нейтральным или вредным [3].

Большое внимание уделяется изучению моллюсков как промежуточных хозяев трематод, для которых известна очень разнообразная фауна паразитов и симбионтов, а также проведены многочисленные исследования, в ходе которых установлено, что вероятность заражения брюхоногих моллюсков личинками трематод и степень их инвазивности определяется целым комплексом факторов (количество инвазионного начала в водоеме, возраст моллюсков, продолжительность активного периода их жизни, течение в водоеме, температура воды, др.). Однако симбиотические сообще-

ства и характер взаимоотношений в ассоциациях моллюсков остаются мало изученными [4].

Среди эндосимбионтов моллюсков выделяют различных беспозвоночных, включая пиявок (Hirudinea), олигохет (Oligochaeta) и ракообразных (Copepoda). Доминирующими симбионтами брюхоногих моллюсков являются пиявки и олигохеты.

Симбионты используют брюхоногих моллюсков в качестве убежища и источника пищи. Симбионты могут населять мантийную и легочную полости, перикард, а также их можно встретить на раковине моллюска или под раковиной. Отношения между моллюсками и симбионтами варьируют от мутуалистических до паразитарных. Известно, что олигохета *Chaetogaster limnaei*, живущая в мантийной и легочной полости моллюска, поедает личинок трематод, паразитирующих у гастропод-хозяев, тем самым препятствуя заражению трематодами моллюска [5].

Имеется ряд исследований посвященных изучению различных зависимостей между структурой сообщества олигохет и моллюском-хозяином. В ходе этих исследований была выявлена положительная корреляция между размером моллюска и численностью олигохет. Для моллюсков более крупного размера отмечена тенденция к более высокой интенсивности заражения олигохетой, по сравнению с моллюсками меньших размеров.

Характер взаимоотношений между симбионтами и моллюсками недостаточно изучен. Остаются неясными многие вопросы, в частности зависимость между размерами моллюсков и численностью симбионтов, а также взаимоотношения между симбионтами. Можно предположить, что между пиявкой и олигохетой могут сложиться конкурентные отношения, так как они могут занимать одну территорию, а именно мантийную полость.

Целью нашего исследования является изучение паразитов и симбионтов брюхоногих моллюсков *Viviparus contectus* и *Lymnaea stagnalis*.

Материалом для работы послужили брюхоногие моллюски, собранные в сентябре и октябре 2022 г. Всего было изучено 56 экземпляров моллюсков из них 29 экземпляров *Viviparus contectus* (Millet, 1813) и 27 экземпляров *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758). Сбор моллюсков для исследования осуществлялся в стоячих водоемах, на мелководье с обильной водной растительностью в окрестностях п. Борок Ярославской области: р. Шумаровка и ихтиологический канал. Собранных моллюсков исследовали на наличие симбионтов и паразитов методом вскрытия. Обнаруженных симбионтов и паразитов фиксировали 70-градусным спиртом для изготовления временных препаратов. Виды симбионтов и паразитов определяли под световым микроскопом в тотальных препаратах в глицерине.

Для живородок и прудовиков выявлен высокий процент заражения паразитами и симбионтами (86 и 96 % соответственно). Высокую зараженность моллюсков можно объяснить тем, что они являются промежуточными хозяевами большого числа видов трематод [2].

В ходе исследования в мантийной полости и под раковинной моллюсков были обнаружены 2 вида пиявок: *Helobdella stagnalis* и *Alboglossiphonia heteroclite*, олигохеты *Chaetogaster limnaei* и не идентифицированные нематоды. Помимо симбиотических видов также были найдены свободноживущие организмы: рачок сем. Parastenocarididae и хирономида *Glyptotendipes glances*, которые, вероятно, в моллюсков попали случайно. Кроме этого, у живородки *V. contectus* были обнаружены в половой железе личинки трематод *Leucochloridiomorpha constantiae*, а между раковинной моллюска и мантией – личинки *L. lutea*. Наиболее встречаемыми симбионтами являлись пиявка *H. stagnalis* и олигохета *C. limnaei*.

Были выявлены зависимости между размерами моллюсков и численностью паразитов и симбионтов. У живородок с увеличением размеров увеличивалась численность олигохет и пиявок. У прудовиков наоборот с увеличением размера снижалась численность пиявок, численность же олигохет от размера моллюска не зависела. Количество личинок трематод *L. lutea* в живородках увеличивалось с увеличением размера моллюска.

С одной стороны, симбионтам и паразитам выгодно выбирать моллюсков большего размера, так как в крупных моллюсках будет больше пространства и пищи, чем в моллюсках меньших размеров. Но, с другой стороны, крупные моллюски с большей вероятностью станут добычей животных. Как показал автор А. А. Манафов (2015), изучавший возрастную структуру популяций лимнейд, почти каждая особь моллюска на протяжении 1,5–2 месяцев становится добычей птиц, рыб или других позвоночных животных, что в большей степени препятствует, а часто почти полностью блокирует осуществление цикла развития большинства видов трематод в биоценозе. Потому что для созревания до стадии продуцирования церкарий партеногенетическим поколениям большинства видов трематод требуется более чем 1,5–2-месячный период обитания в моллюске [1].

В нашем исследовании у прудовика с увеличением размера снижалась численность пиявок. Это можно объяснить тем, что *L. stagnalis* является легочным моллюском, который использует кислород из воздуха, периодически всплывая на поверхность воды, становясь при этом лёгкой добычей для водоплавающих птиц и рыб. И, в связи с этим симбионтам не выгодно выбирать моллюсков крупных размеров.

Таким образом, в проведенном исследовании сообщества паразитов и симбионтов, связанных с *Lymnaea stagnalis* и *Viviparus contectus* форми-

руют симбиотические формы – пиявки, олигохеты и свободноживущие – хиронамиды, нематоды и ракообразные. Выявлена зависимость между размерами исследуемых видов моллюсков и количеством симбионтов.

Список литературы

1. Манафов А. А. Экологические особенности формирования трематодофауны моллюсков бассейна Средней Куры в пределах Азербайджана // Вестник Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина. 2015. Выпуск 25. С. 275–284.
2. Руско Д. И., Самойлова Т. И., Цвирко Л. С. Трематодофауна брюхоногих моллюсков в водоемах Пинского региона // Вестник Полесского государственного университета. 2017. № 2. С. 92–98.
3. Bolotov I. N. et al. Freshwater mussels house a diverse mussel-associated leech assemblage // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. P. 1–22.
4. Leung T. L. F., Poulin R. Parasitism, commensalisms, and mutualism: exploring the many shades of symbioses // Vie et milieu – life and environment. 2008. Vol. 58 (2). P. 107–115.
5. Stoll S. et al. Effects of Chaetogaster limnaei limnaei (Oligochaeta, Tubificidae) on freshwater snail communities // Hydrobiologia. 2017. Vol. 785. P. 101–113.

УДК 575. 8

Нейрокогнитивная цефализация как новый этап в эволюции мозга современного человека

А. А. Артеменков

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
basis@live.ru

Аннотация. В работе рассматривается эволюция мозга человека с позиции учения В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере. Процесс нооцефализации видится автором как закономерная реакция на изменение условий жизнедеятельности современного человека. Показано, что процесс нооцефализации формирует новую материальную основу и новый уровень развития мозга человека. Вместе с тем, высказываются опасения по возникновению рисков для здоровья человека и появлению обратного процесса – децефализации, развития дисрегуляторных нарушений и дезадаптации человека. Произошедшие изменения свидетельствуют о наступлении нового этапа в эволюции мозга современного человека.

Ключевые слова: биосфера, ноосфера, человек, мозг, цефализация, новый этап эволюции.

Abstract. The paper considers the evolution of the human brain from the position of the teachings of V. I. Vernadsky about the biosphere and noosphere. The process of noocephalization is seen by the author as a natural reaction to the changing living conditions of a modern person. It is shown that the process of noocephalization forms a new material basis and a new level of development of the human brain. At the same time, there are concerns about the emergence of risks to human health and the emergence of the reverse process – decephalization, the development of dysregulatory disorders and maladaptation of a person. The changes that have taken place indicate the onset of a new stage in the evolution of the brain of a modern person.

Keywords: biosphere, noosphere, human, brain, cephalization, new stage of evolution.

Еще основоположник учения о биосфере и ноосфере В. И. Вернадский указывал на то, что живое вещество постоянно приспосабливается к изменениям среды и имеет свой пластический эволюционный процесс. И этот процесс непременно связан с усовершенствованием нервной системы и эволюцией человеческого мозга. По Вернадскому, мощь человечества связана не с материей, а с мозгом, с разумом и направляемым этим разумом трудом. Именно поэтому В. И. Вернадский большое значение придавал обобщению, сделанному Д. Д. Дана, который заметил, что с ходом геологического времени совершенствуется и мозг, а процесс его эволюции всегда идет только в прогрессивном направлении и больше никогда не возвращается вспять, а идет только вперед. Это явление было названо Дана цефализацией. В основе цефализации лежат общебиологические законы эволюции, открытые Ч. Дарвиным – борьба за существование и естественный отбор. По Ч. Дарвину, естественный отбор сохраняет полезные для организма изменения и, таким образом, совершенствует каждое органическое существо в связи с его условиями жизни. В свою очередь, А. Н. Северцов в морфобиологической теории эволюции главное внимание обращает на прогрессивные изменения морфофизиологического типа – ароморфозы, в ходе которых происходит общий подъем энергии жизнедеятельности организмов. Тем не менее, нам интересен и процесс идеоадаптаций – более мелких полезных изменений в строении и функции органов, без повышения уровня организации и подъема общей энергии жизнедеятельности, которые соответствуют определенным изменениям внешней среды. С другой стороны, надо сказать, что И. И. Шмальгаузен, открыв-

ший стабилизирующую форму отбора, особое значение придавал ненаследственным изменениям модификациям – реакциям любой особи на обычные изменения среды, которые часто поражают своей адаптивной целесообразностью. Иными словами, адаптивная модификация по Шмальгаузену выступает в роли дифференцирующего фактора эволюции [5]. В связи с этим у нас возникает закономерный вопрос: «Цефализация мозга современного человека есть результат ароморфоза или идеоадаптаций? Или это частный случай идеоадаптации: специализация или адаптивная модификация? Собственно, в этом вопросе и есть суть поднимаемой проблемы усовершенствования мозга современного человека – ноосферной-цефализации.

Уже сейчас очевидно, что цефализация мозга связана с длительным действием на человека социальной среды, а в наше время – с урбанизацией населения, сокращением естественной среды обитания человека (биосферы), расширением техносферы и формированием информационного общества. Современные исследователи (Демиденко Э. С., Дергачева Е. А.) [2] прямо указывают на усиление эволюции социотехногенеза в современную эпоху и на формирование нового техногенного земного мира. Сегодня быстрыми темпами происходит трансформация биосферы и биосферной жизни в условиях техногенного развития и осуществляется глобальный переход жизни на техно-ноосферный. В. Н. Попковой [4] четко показано формирование техногенной среды и ее влияние на человека. Несомненно, в этом процессе ноосферное восхождение земной жизни связано с социотехноприродной глобализацией и прогрессивной эволюцией мозга человека.

На наш взгляд, в ноосферной-цефализации (нооцефализации) проявляется диалектическое единство организма и среды, структуры и функции, субстрата и свойств. Это своеобразная взаимосвязь компонентов (частей) в целостном организме как биологической системе. Ускоренное развитие мозга в условиях глобализации современной цивилизации связано с высшими интегративными функциями, зависимыми от обучения. Процесс развития высших отделов мозга мы представляем, как усовершенствование его нервной организации в непосредственной связи с его историческим (эволюционным) и онтогенетическим развитием. Нооцефализация мозга осуществляется по принципу усложнения ассоциативного процесса в коре больших полушарий мозга и формирования новых, более разветвленных нервных сетей, возникновения нервных связей, а не увеличения его массы, поскольку в современных условиях среды все большее значение приобретают когнитивные процессы познания и обучения человека. Таким образом, механизмы нооцефализации связаны в первую очередь со

срочной пластической перестройкой мозга человека и его психического отражения действительности в соответствии с изменениями окружающей среды. В данном случае можно говорить о взаимосвязи средовой адаптации и ноцефализации мозга современного человека.

Ранее с позиции урботехносоциального подхода нами [1] было наглядно показано, что расширение искусственной среды обитания человека (техносферы) и интегративное усовершенствование работы мозга – это взаимосвязанные явления, происходящие и ускоряющиеся в техногенно-городской среде. Этот процесс приводит к появлению у человека новых качеств, связанных с мозговой цефализацией, которая осуществляется за счет процесса преадаптации. Таким образом, ноцефализация – это общебиологическая закономерность, объективно существующее явление в мозге, происходящее параллельно глобализации современной цивилизации. Помимо преадаптации реализация ноцефализации происходит за счет процессов специализации и координации регулирующих нервно-гуморальных влияний и более быстрой переработки поступающей в мозг информации. Иными словами, ноцефализация есть часть проблемы направленной прогрессивной эволюции органического мира. В этом отношении живая материя (мозг) должна эволюционировать не только в отношении структуры, но и в отношении функции. Нейрокогнитивная ноцефализация есть усложнение организации живой материи в направлении универсализации работы мозга и интеграции его функций ввиду невозможности бесконечного увеличения массы мозга в процессе эволюции.

Следовательно, с ноцефализацией мозга открывается новый путь биологической эволюции человека. И этот путь есть результат реагирования на коренным образом изменившиеся условия среды. Итак, в строящемся ноосферном мире происходит процесс эволюционно-средовой ноцефализации мозга, связанный с преобразованием высокоорганизованной живой материи. В связи с этим возникают два вопроса: «Какие факторы окружающей среды и общественной жизни человека инициируют процесс ноцефализации?». «Существуют ли уровни цефализации мозга современного человека?». Определенно можно сказать, что главными факторами ноцефализации являются сокращение биосферы и расширение искусственной среды обитания человека – техносферы, урбанизация населения и повсеместная информатизация общества. Прогрессивные преобразования мозга современного человека в виде ноцефализации формируют новые уровни его организации: 1) низкий (начальный) уровень; 2) средний (уровень усовершенствования); и 3) высокий (уровень цефализации). На этих уровнях мозге возникает новый нейрофизиологический субстрат и усложняются интегративные межфункциональные отношения, позволяющие человеку

существовать в современных условиях среды. По нашему мнению, можно предположить, что на низшем уровне работы мозга задействованы преимущественно «старые» и ранее исчезнувшие нейронные связи. Приобретение новых знаний на таком уровне работы мозга существенно ограничено. На уровне усовершенствования мозга происходит частичное приобретение человеком новых знаний за счет активации старых и образования новых связей. И, наконец, на уровне истинной нейрокогнитивной цефализации мозга усвоение знаний о мире происходит только за счет возникновения новых нервных связей в сетях мозга, которых не было ранее.

Таким образом, в современных условиях жизни человека независимо от нас формируется новый тип трансформационных изменений, который не похож на ранее существующие. Этот процесс связан также с возросшей в разы когнитивной нагрузкой на организм человека. Техногенно-социальная среда детерминирует количественные и качественные преобразования мозга человека, вследствие чего изменяется наш образ жизни, наша психика и сознание. У человека постепенно формируется ноосферное сознание, мышление и разум. Самосовершенствование мозга человека в таких условиях есть основной путь к его выживанию в новых условиях среды обитания.

С другой стороны, возникает новая проблема нарастающей искусственной трансформации современного человека и возникновение рисков для его здоровья. Успехи медицины и снижение смертности населения приводят к ослаблению действия естественного отбора в человеческих популяциях. Более того, антрополог С. В. Дробышевский [3] на основе анализа эндокраниометрических признаков гоминид выдвинул предположение о причинах резкого ускорения эволюции мозга при переходе от австралопитеков к «ранним Ното» и уменьшения объема мозга за последние 25–27 тысяч лет. Поэтому мы не исключаем возникновение обратного процесса – децефализации мозга современного человека. Тем более что для этого в наше время есть множество причин.

В современных условиях существования человеку приходится все время решать множество возникающих проблем. Поскольку мы перешли на новый этап цивилизационного развития, связанного с ускорением всех процессов, то существенно изменились и условия жизни многих людей. Следовательно, нашему мозгу требуется другая скорость обработки информации, и ему приходится все чаще функционировать в условиях многозадачности и неопределенности принятия решений. Кроме того, сейчас зрительное восприятие информации стало более значимо, чем сведения, поступающие от других органов чувств. И если мозг будет не подготовлен к такому развитию событий, то произойдет нарушение его работы и дея-

тельности высших психических функций (внимания, сознания, мышления, памяти и т. д). Изменение состояния структур мозга проявляется в дисрегуляторных нарушениях и в возникновении дезадаптации. Поэтому дисрегуляторные мотивационно-эмоциональные нарушения у современного человека возникают чаще всего в связи с чрезмерной информационной нагрузкой, несоответствием объема и сложности ее поступления и возможностями обработки ее мозгом. То есть, на первый план сейчас выступают проблемы, связанные с регуляцией функций в организме человека. Таким образом, можно заключить, что наступил новый этап в эволюции мозга и она может пойти в совершенно другом направлении.

Список литературы

1. Артеменков А. А. Проблемы цефализации и трансформация мозга современного человека // Ноосферные исследования. 2022. № 1. С. 71–81.
2. Демиденко Э. С., Дергачева Е. А. Техногенное развитие общества и трансформация биосферы. Москва: КРАСАНД, 2017. 288 с.
3. Дробышевский С. В. Эволюция мозга человека: Анализ эндокранометрических признаков гоминид. Москва: ЛЕНАНД, 2020. 176 с.
4. Попкова Н. В. Философия техносферы. Москва: ЛИБРОКОМ, 2014. 344 с.
5. Шмальгаузен И. И. Пути и закономерности эволюционного процесса. Москва: ЛИБРОКОМ, 2017. 272 с.

УДК 574

Накопление и распределение ртути в органах и тканях амфибий промышленного района Северо-Запада России

Д. Э. Баженова

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
debazhenova@chsu.ru

Аннотация. Установлены особенности накопления и распределения ртути в органах трех видов амфибий, отловленных на территории Череповецкого района Вологодской области. Выявлена связь между содержанием ртути в органах амфибий и морфометрическими показателями их тела. Отмечена зависимость накопления ртути между органами. Установлены различия в содержании ртути в органах бурых лягушек, собранных в разных биотопах района исследования.

Ключевые слова: ртуть, тяжелые металлы, серая жаба, травяная лягушка, остромордая лягушка, амфибии.

Abstract. The peculiarities of accumulation and distribution of mercury in organs of three species of amphibians caught in the territory of Cherepovets district of the Vologda region have been established. The relationship between the mercury content in the organs of amphibians and morphometric indicators of their bodies has been revealed. The dependence of mercury accumulation between organs has been noted. Differences in mercury content in the organs of brown frogs collected in different biotopes of the study area have been established.

Keywords: mercury, heavy metals, *Rana arvalis*, *Rana temporaria*, *Bufo bufo*, amphibians.

Известно, что одну из ключевых ролей в биогеохимическом цикле ртути играют водные экосистемы, где под воздействием микроорганизмов соединения ртути переходит в биодоступную форму и передаются по пищевым сетям [3]. Амфибии являются хорошими индикаторами загрязнения, так как их жизненный цикл включает как водные, так и наземные среды обитания [2].

Череповецкий район Вологодской области характеризуется как территория с интенсивной антропогенной нагрузкой, в том числе за счет промышленных предприятий, которые являются потенциальными источниками поступления ртути в атмосферу [1].

Амфибий собирали на территории Череповецкого района Вологодской области. На содержание ртути проанализированы образцы органов от 427 особей трех видов амфибий – остромордая лягушка (*Rana arvalis*), травяная лягушка (*Rana temporaria*) и серая жаба (*Bufo bufo*). Содержание ртути во всех тканях животных определяли на ртутном анализаторе РА-915М с приставкой ПИРО без предварительной пробоподготовки на базе Регионального центра коллективного пользования ЧГУ.

Статистическую обработку проводили с использованием теста Шапиро – Уилка, критерия Краскела – Уоллиса и коэффициента корреляции Спирмена (при $p \leq 0,05$).

Содержание ртути во всех тканях и органах амфибий варьирует в пределах от 0,001 до 0,36 мг/кг, сырой массы. Содержание металла в печени всех исследованных видов достоверно превышает данный показатель в других органах и тканях животных. Минимальные значения количества металла установлены в коже животных.

Содержание ртути в сердце, кишечнике, коже и мышцах травяной лягушки достоверно превышает показатели металла в аналогичных органах остромордой лягушки и серой жабы. Статистических различий концентраций ртути в печени и почках всех трех видов амфибий не установлено.

Выявлены положительные корреляционные связи в печени, сердце, кишечнике, коже и мышцах бурых лягушек от длины тела ($r_s = 0,22-0,41$, при $p \leq 0,05$). Зависимость показателей ртути в органах серой жабы от длины тела установлена только в печени (прямая связь: $r_s = 0,29$, при $p \leq 0,05$).

Установлены прямые корреляционные связи между содержанием ртути в следующих парах органов остромордой: печень-сердце, печень-кишечник, печень-мышцы, почки-сердце, почки-мышцы, сердце-кишечник, сердце-мышцы ($r_s = 0,28-0,52$, при $p \leq 0,05$).

У травяной лягушки корреляционная зависимость количества металла установлена для таких пар исследованных органов, как печень-почки, печень-кишечник, кишечник-мышцы, мышцы-кожа ($r_s = 0,33-0,49$, при $p \leq 0,05$).

У серой жабы статистически значимые зависимости (прямая связь) отмечены для всех пар органов ($r_s = 0,34-0,66$, при $p \leq 0,05$), кроме пар почки-сердце, почки-кишечник и почки-кожа.

Содержание ртути в амфибиях, отловленных в различных биотопах Череповецкого района, исследовали на примере бурых лягушек. Установлено, что концентрации металла в печени и почках амфибий, отловленных на суходольном лугу достоверно ниже, чем показатели ртути в лягушках из других, более влажных, биотопов.

Список литературы

1. Комов В. Т. и др. Содержание ртути в органах млекопитающих семейства куньих (Mustelidae) Вологодской области // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 385–393. EDN PXBJRT.
2. Birge W. J., Westerman A. G., Spromberg J. A. Comparative toxicology and risk assessment of amphibians // *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*. 2000. P. 727–792.
3. Mason R. P., et al. Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications // *Environmental Research*. 2012. № 119. P. 101–117.

**Новые местообитания цикады горной
(*Cicadetta montana* (Scopoli, 1772)) на территории национального парка
«Русский Север». Исследования 2022–2023 гг.**

Н. А. Губайдуллина¹, Л. В. Кузнецова²

¹Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

^{1,2} Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Национальный парк «Русский Север»

prigoda.russever@mail

Аннотация. Авторы указывают новые местообитания цикады горной (*Cicadetta montana* Scop., 1772) в центральной части и на северной границе национального парка «Русский Север», отмечают особенности биогеоценозов, приводя названия видов, входящих в растительное сообщество.

Ключевые слова: виды растений, Вологодская область, почвенный ход, экзувий, экологический фактор

Annotation. The authors indicate new habitats of the mountain cicada (*Cicadetta montana* Scopoli., 1772) in the central part and on the northern border of the “Russian North” National Park, note the features of ecotopes, giving names to species included in the plant community.

Keywords: plantspecies, Vologdaregion, soilcourse, exuvium, environmentalfactor

Введение. Цикада горная (*Cicadetta montana* Scopoli, 1772) – вид, занесенный в Красные книги и региональные списки многих регионов России, в том числе Вологодской (Постановление Правительства Вологодской области № 942 от 25 июля 2022 г.), Московской (Распоряжение Министерства экологии и природопользования Московской области № 103-РМ от 20 марта 2018 г.), Ленинградской (Приказ Комитета по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира Правительства Ленинградской области № 7 от 11 июля 2017 г.) и других областей. Вид также включен в Красные списки иностранных государств.

На начало полевого сезона 2022 года на территории национального парка официально были подтверждены два местообитания цикады горной: в окрестностях дер. Тихонино, Лопотово, Коварзино [1], а также в окрестностях дер. Сандырево [2]. В последнем случае экологические факторы

местообитания были изучены достаточно полно: составлены геоботанические описания локалитетов (мест концентрации признаков присутствия цикады горной – экзувиев и почвенных ходов), определены участки наиболее массовых линек с учетом трехлетнего периода исследования.

С 2021 года велась работа по выявлению в границах национального парка предположительных местообитаний насекомого с учетом условий среды, наблюдаемых на горе Сандыревой, территория которой является местообитанием, как мы предполагаем, одной из крупнейших популяций цикады горной на Северо-Западе России. Нами осматривалась карта национального парка и выбирались места, потенциально пригодные для обитания цикады горной, таковыми стали: песчано-гравийные карьеры в окрестностях с. Горицы, дер. Перхино, Пеньково, Кашкино а также в Шалго-Бодуновском лесничестве национального парка.

С точки зрения актуальности работы необходимо отметить следующее. Возведенный в селе Горицы визит-центр национального парка, преобразование «Русского Севера» в модельную особо охраняемую природную территорию (ООПТ) с высоким уровнем развития инфраструктуры экотуризма создает условия для существенного повышения рекреационной нагрузки на рассматриваемую территорию.

С учетом того, что рекреационная нагрузка, нарушение естественного ландшафта [4], в т. ч. «вытаптывание почвенного покрова <...>, возможно, техногенные загрязнения», разными учеными указываются как лимитирующие факторы [3], то и сохранение популяции цикады горной на ООПТ во многом зависит от сохранения местообитаний, в частности организованного использования территории в рекреационных целях (абзац 10 Преамбулы Конвенции ООН «О сохранении биоразнообразия»). Иное влечет риски сокращения и даже утраты популяции.

Помимо организации рекреационного использования территории, остро стоит вопрос о сохранении местообитания как открытого ландшафта – а это еще более актуально для северных территорий национального парка. Экологический мониторинг популяции, исследование зависимости численности особей от экологических факторов необходимы для решения вопроса о возможных мерах по поддержанию оптимальных условий местообитания, в первую очередь, ландшафтных рубках. Последние обеспечили бы лучшую освещенность и прогреваемость склонов, так как «зарастание опушек и полян лесом и сорняками» как это отмечается отдельными специалистами [3], также негативно влияет на численность вида.

Объект и методы исследования. В процессе исследования нами осматривались участки предположительных местообитаний на предмет признаков присутствия цикады горной. Стоит отметить, что тщательному осмотру подлежали не только карьеры, но и обочины автомобильных дорог,

прилегающих к ним, песчаные насыпи (мезоповышения), образующиеся при обслуживании (расширении) автодороги. Для каждого такого участка формировалось геоботаническое описание по бланку, утвержденному в ФГБУ «Национальный парк «Русский Север». Для определения некоторых объектов растительного мира, описания почв осуществлялся забор соответствующих материалов. Определение вида (рода) отдельных растений, мохообразных осуществлялось с помощью приложения «PlantNet» (версия 3.16.2 – 5000124), а также с помощью к. б. н. Е. В. Кармазиной, А. Б. Чо-бадзе.

Установление координат (описываемого участка, каждой находки) происходило с помощью GPS прибора (Garmin 60сХ). На месте обнаружения экзувия и (или) почвенного хода проставлялся деревянный кольшек диаметром ок. 1 см с указанием характера и даты находки (напр., «2 Э 5 ПХ15.07.23»: обнаружено 2 экзувия, 5 почвенных ходов). В процессе исследования записи и изображения вносились в полевой дневник, осуществлялась фотосъемка.

Полученные результаты.

1. В процессе исследования нами была подтверждена гипотеза о наличии на трех из четырех обозначенных нами участков бесспорных признаков присутствия цикады горной – экзувиев и характерных почвенных ходов рядом с ними. Такими местообитаниями стали: территории песчано-гравийных карьеров в окрестностях с. Горицы, дер. Перхино, а также участок, прилегающий к автодороге рядом с карьером в окрестностях дер. Кашкино и грунтовая насыпь, образовавшаяся при расширении дороги, на северной границе национального парка (карьер в окрестностях Шалго-Бодуновского лесничества).

2. Были составлены геоботанические описания всех трех предположительных местообитаний; с учетом лимитирующих факторов, актуальных для вида в нашем регионе, особое внимание уделялось параметрам древесных растений, в т. ч. сомкнутости крон. На участках, как правило, присутствуют ель (*Picea sp.*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ольха серая (*Alnus incana*), ивы (*Salix sp.*), иногда – шиповник (*Rosa sp.*), береза (*Betula sp.*). Некоторые из этих деревьев и кустарников – в подросте или подлеске. Травянистые растения на местообитаниях представлены, в частности, следующими видами: вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), горошек (*Vicia sp.*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), клевер ползучий (*T. repens*), ястребинка (*Hieracium sp.*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*), золотарник (*Solidago sp.*).

Выводы

1. Все участки, в отношении которых было подтверждено присутствие цикады горной, представляют собой территории с нарушенным напочвенным покровом (природно-антропогенные ландшафты): обочину автомобильной дороги, в т. ч. грунтовую насыпь (мезоповышение) при ней, а также эксплуатируемые и неэксплуатируемые песчано-гравийные карьеры.

2. Все упомянутые в настоящей публикации местообитания характеризуются как открытые ландшафты с разреженной древесно-кустарниковой растительностью. На настоящий момент мы не обладаем достаточным количеством данных для однозначных выводов, но, вероятно, корни таких растений являются источником питания личинок цикады горной на местообитаниях.

3. По нашим наблюдениям, травянистые растения, зафиксированные на местообитаниях, являются видами, населяющими, как правило, нарушенные почвы (подвергшиеся интенсивному антропогенному воздействию). На участках формируются злаково-клеверовая / вейнико-клеверовая / васильково-клеверовая ассоциации. Степень развития напочвенного покрова на каждом из местообитаний разная: общее проективное покрытие варьируется от 30 до 80 %.

4. С точки зрения перспектив исследования и применения уже имеющихся результатов, отметим следующее. Уже в скором времени планируется рассмотреть вопрос о проведении мероприятий по поддержанию оптимальных условий на местообитаниях, в т. ч. осуществлении выборочных рубок (рубок ухода) с сохранением растений, входящих в трофические предпочтения цикады горной.

Список литературы

1. Белова Ю. Н. Цикада горная – *Cicadetta montana* (Scopoli, 1772) / под редакцией Б. Ю. Филиппова, С. В. Пестова. Вологда: Коперник, 2008. С. 264–265.
2. Белова Ю. Н., Губайдуллина Н. А., Кузнецова Л. В. Находки цикады горной (*Cicadetta montana* (Scopoli, 1772)) на территории Вологодской области (Россия) // Сборник статей III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В. А. Цинкевича (1971–2018). 2019. С. 68–72.
3. Большаков Л. В. Цикада горная // Красная книга Тульской области. 2014 г. URL: http://redbooktula.ru/krasnaya-kniga/ravnokrylye-homoptera/tsikada-gornaya/?sphrase_id=4207301 (дата обращения: 20.09.2023).
4. Конусова О. Л., Романенко В. Н. Цикада горная – *Cicadetta montana* Scopoli, 1772. Томск: Томский университет, 2002. С. 131.

Изотопная подпись хищных млекопитающих Северо-Запада России

Л. С. Ельцова¹, Е. С. Иванова², В. Т. Комов³, И. Ю. Мизгирева⁴,
Л. В. Кузнецова⁵, М. С. Барина⁶, И. С. Савкова⁷, Е. В. Платонова⁸
^{1,2,3,4}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
³Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской
академии наук, Борок, Россия
⁵Национальный парк «Русский Север», Кириллов, Россия
⁶Череповецкое музейное объединение, Череповец, Россия
⁷Тотемское музейное объединение, Тотьма, Россия
⁸Вологодский государственный историко-архитектурный и
художественный музей-заповедник, Вологда, Россия
khabarovals@yandex.ru

Аннотация. Исследование посвящено анализу соотношения стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти хищных млекопитающих (выдра, горностай, ласка, лесная куница, европейский хорь, рыжая лисица, волк, бурый медведь, рысь) Вологодской области (Северо-Запад России). $\Delta^{13}\text{C}$ в шерсти исследованных животных варьируется от -27,9‰ до -20,4‰, $\delta^{15}\text{N}$ – от 3,5‰ до 15,3‰. Шерсть животных, питающихся гидробионтами, обогащена тяжелым изотопом азота по сравнению с хищниками, питающимися копытными и зайцами, а шерсть животных, питающихся преимущественно мелкими млекопитающими, занимает промежуточное положение по значению $\delta^{15}\text{N}$. Шерсть животных с более высокой скоростью метаболизма и с меньшей массой тела обеднена тяжелым изотопом углерода.

Ключевые слова: изотопная экология, изотопная сигнатура, шерсть, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, хищные млекопитающие.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Abstract. The study is devoted to the analysis of the ratio of stable carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) in the hair of representatives of the Order Carnivora (otter, stoat, least weasel, european pine marten, european polecat, red fox, wolf, brown bear, eurasian lynx) from the Vologda region (North-West of the Russian Federation). $\Delta^{13}\text{C}$ in the hair from -27.9‰ to -20.4‰, $\delta^{15}\text{N}$ – from 3.5‰ to 15.3‰. The hair of animals feeding on hydrobionts is enriched with a heavy nitrogen isotope compared to predators feeding on ungulates and hares,

and the wool of animals feeding mainly on small mammals occupies an average position in level of $\delta^{15}\text{N}$. Animal hair with a high metabolic rate and with a lower body weight is depleted by a heavy carbon isotope.

Keywords: isotope ecology, isotopic signature, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, hair, predatory mammals.

Gratitude. The work was supported by the Russian Science Foundation under grant No. 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Введение. Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) является важным показателем при изучении экологии дикой природы [1–3]. Фракционирование изотопов $\delta^{15}\text{N}$ у животных зависит от их положения в пищевой цепи в то время как фракционирование изотопов углерода в пищевых цепочках меняется незначительно. При этом стабильные изотопы углерода отражают изотопный состав первичных продуцентов, лежащих в основе пищевой цепочки. Фракционирование изотопов углерода и азота в тканях также зависят от эффективности усвоения пищевых макроэлементов, скорости тканевого метаболизма и прохождения через различные метаболические пути, а также от размера тела, поскольку от этого зависят рост и скорость тканевого метаболизма.

Согласно гипотезе исследования ширина варибельности изотопной сигнатуры шерсти млекопитающих, занимающих один и тот же трофический уровень и обитающих на одной и той же территории, вероятно, обусловлена не только их положением в трофической цепи и изотопным составом первичных продуцентов, расположенных у основания пищевой пирамиды в данной экосистеме, но также трофической специализацией различных видов животных и скоростью их метаболизма.

Наземные хищные млекопитающие обычно имеют низкую плотность популяции, часто перемещаются в пределах больших ареалов обитания и питаются случайным образом. Эти факторы затрудняют изучение трофической экологии диких хищников традиционными методами, такими как наблюдение и анализ фекалий, и подчеркивают важность анализа стабильных изотопов в качестве альтернативного метода изучения трофических взаимоотношений и межвидовых взаимосвязей в пищевых сетях. Волк (*Canis lupus* L., 1758), рыжая лисица (*Vulpes vulpes* L., 1758), бурый медведь (*Ursus arctos* L., 1758), лесная куница (*Martes martes* L., 1758), ласка (*Mustela nivalis* L., 1766), европейский хорь (*Mustela putorius* L., 1758), горностай (*Mustela ermine* L., 1758), выдра (*Lutra lutra* L., 1758), рысь (*Lynx lynx* L., 1758) распространены на всей территории района исследования.

Цель данного исследования – определение изотопной сигнатуры шерсти представителей отряда Carnivora с разной трофической специализации.

ей и разной скоростью метаболизма на территории Вологодской области. Шерсть была выбрана в качестве объекта анализа, поскольку она обладает высокой метаболической активностью, быстрым изменением изотопного состава по сравнению с другими тканями животных, а также является удобным не инвазивным инструментом для изучения трофического статуса млекопитающих.

Объект и метод исследования. Сбор материала проводили на территории Вологодской области с 2015 по 2021 год. Образцы шерсти животных были получены от охотников ($n=113$), а также были собраны в фондах зоологических коллекций музеев природы ($n=124$): Череповецкого музейного объединения, Дарвиновского природного заповедника, Тотемского краеведческого музея, Вологодского государственного музея-заповедника, Великоустюгского историко-архитектурного и художественного музея-заповедника. Всего исследовано 9 видов отряда Carnivora: волк ($n=10$), рыжая лисица ($n=30$), бурый медведь ($n=25$), лесная куница ($n=86$), ласка ($n=17$), европейский хорь ($n=34$), горностай ($n=19$), выдра ($n=10$), рысь ($n=6$). Пробоподготовку проводили в соответствии с описанным ранее методом [4]. Изотопный состав определяли дважды с использованием изотопного масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V Plus и элементного анализатора (Thermo Flash 1112) в Региональном центре коллективного пользования Череповецкого государственного университета. Изотопный состав азота и углерода выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта (δ , ‰). Результаты измерений представили в виде среднего арифметического, минимальных и максимальных значений. Для статистического анализа данных использовали медианный критерий Краскела-Уоллиса и коэффициент ранговой корреляции Спирмена, при уровне значимости $p \leq 0,05$. Нормальность распределения данных в выборке оценивали с использованием критерия Шапиро-Уилка.

Результаты. Соотношение стабильных изотопов углерода в шерсти хищных млекопитающих в Вологодской области варьируется от -27,9 до -20,1 ‰. Средние значения $\delta^{13}\text{C}$ увеличиваются в ряду: выдра (-25,0±0,7‰) < рысь (-24,7±0,4‰) < горностай (-24,5±0,3‰) < ласка (-24,3±0,3‰) < лесная куница (-23,8±0,1‰) < рыжая лисица (-23,6±0,2‰) < волк (-23,2±0,3‰); бурый медведь (-23,2±0,2‰) < европейский хорь (-22,3±0,1‰). Отмечено, что шерсть горностая (-24,5‰) и выдры (-25,0‰) менее обогащена тяжелым изотопом углерода по сравнению с шерстью бурого медведя (-23,2‰) и европейского хоря (-22,3‰). Обнаружена положительная значимая корреляция между $\delta^{13}\text{C}$ и базальной скоростью метаболизма и средней массой тела млекопитающих ($r=0,00$).

Соотношение стабильных изотопов азота в шерсти представителей отряда хищных в Вологодской области варьируется от 3. 5 до 15. 3. Средние

значения $\delta^{15}\text{N}$ увеличиваются в ряду: бурый медведь ($5,5\pm 0,3\%$) < рысь ($6,4\pm 0,3\%$) < волк ($7,8\pm 0,3\%$) < лесная куница ($7,8\pm 0,1\%$) < горноста́й ($8,9\pm 0,4\%$) < ласка ($9,0\pm 0,5\%$) < рыжая лисица ($9,5\pm 0,2\%$) < европейский хорь ($10,5\pm 0,4\%$) < выдра ($11,6\pm 0,5\%$). Установлены статистически значимые различия $\delta^{15}\text{N}$ в шерсти животных с разной трофической специализацией: хищники, питающиеся главным образом рыбой, обогащены тяжелым изотопом азота по сравнению с хищниками, питающимися копытными и зайцами, в то время как животные, питающиеся в основном мелкими млекопитающими, занимают среднее положение по показателю $\delta^{15}\text{N}$.

В целом изотопная подпись шерсти млекопитающих отряда Carnivora, обитающих на территории Вологодской области соответствуют ранее полученным результатам для хищных млекопитающих Канады, США и Центральной России [1-3].

Выводы. Изотопная подпись шерсти млекопитающих отряда Carnivora, принадлежащих к одному трофическому уровню (консументы 2-го порядка), обитающих на одной территории имеет широкую вариабельность: $\delta^{13}\text{C}$ от $-27,9$ до $-20,1\%$ и $\delta^{15}\text{N}$ от $3,5$ до $15,4\%$.

Установлены статистически значимые различия изотопной подписи ($\delta^{13}\text{C}$) для разных видов млекопитающих, в том числе внутри одного семейства, при этом установлена положительная значимая корреляция между $\delta^{13}\text{C}$ и скоростью метаболизма, а также массой тела животного.

Установлены статистически значимые различия изотопной подписи ($\delta^{15}\text{N}$) для разных видов млекопитающих одного трофического статуса, но разной специализацией, при этом отмечено, что шерсть животных, питающихся гидробионтами, обогащена тяжелым изотопом азота по сравнению с хищниками, питающимися копытными и зайцами.

Список литературы

1. Добровольская М. В., Тиунов А. В., Крыловичидр О. А. Изотопные маркеры экосистем и питания средневекового сельского населения лесной зоны европейской части России // *Российская археология*. 2020. № 3. С. 79–95.
 2. Urton E. J., K. A. Hobson Intrapopulation variation in gray wolf isotope ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) profiles: implications for the ecology of individuals // *Oecologia*. 2005. № 145. С. 316–325.
 3. Fox-Dobbs K. et al. Carnivore-specific stable isotope variables and variation in the foraging ecology of modern and ancient wolf populations: case studies from Isle Royale, Minnesota, and La Brea // *Canadian Journal of Zoology*. 2007. № 85(4). С. 458–471.
 4. O'Connell T. C. et al. Isotopic comparison of hair, nail and bone: modern analyses // *Journal of Archaeological Science*. 2001. № 28(11). С. 1247–1255.
- УДК 902. 672

Исследование пыльцевого дождя фоновой территории лесной зоны (п. Борок Никольского района Вологодской области)

Н. А. Залесова¹, Н. Б. Афанасьева²

¹Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

¹chelsea-best1998@mail.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

Москва, Россия

²astnat@yandex.ru

Аннотация. Проведен аэропалинологический мониторинг в небольшом населенном пункте на востоке Вологодской области. Выявлен количественный и качественный составы спектра пыльцевых зерен, установлены сроки пыления таксонов ядра флоры, выделены волны пыления и представлен календарь пыления.

Ключевые слова: палинология, аэропалинологический мониторинг, пыльца, палиноморфы, календарь пыления.

Abstract. Aeropalinological monitoring was carried out in a small settlement in the east of the Vologda region. The quantitative and qualitative compositions of the spectrum of pollen grains are revealed, the terms of pollination of the flora core taxa are established, the pollen propagation waves are identified and the pollen distribution calendar is presented.

Keywords: palynology, aeropalinological monitoring, pollen, palynomorphs, pollen distribution calendar.

Исследование регионального пыльцевого дождя – необходимая часть комплексных палеоэкологических исследований. Оно позволяет связать данные о растительности территории с ее представленностью в спорово-пыльцевых спектрах. Такие материалы являются основой для интерпретации палинологических спектров разного типа отложений, изучаемых с целью познания вопросов экологии и эволюции природных обстановок прошлого. Изучение пыльцевого дождя фоновых территорий, удаленных от крупных населенных пунктов, имеет особую ценность в этой связи.

Объектом настоящего исследования является пыльца, содержащаяся в атмосфере п. Борок Никольского района. Территория находится на юго-востоке Вологодской области на границе Унжинской равнины и Северных Увалов в подзоне южной тайги. 87 % площади района занимают леса, преимущественно еловые и пришедшие им на смену при восстановительных сукцессиях мелколиственные.

Метод исследования – аэропалинологический [3]. Для сбора пыльцы использован гравиметрический пылеуловитель Дюрама, установленный на крыше здания на высоте 10 м. Пробы отбирались ежедневно в течение полного вегетационного сезона в 2021 г. Для идентификации пыльцы использовались специализированные определители [1, 2] и международные палинологические базы данных PalDat, Polleninfo, Pollenwiki. Составление календаря пыления проводилась в соответствии с рекомендациями для европейских станций аэропалинологического мониторинга [4].

В результате проведенных исследований выявлен количественный и качественный составы спектра пыльцевых зерен, установлены сроки пыления таксонов ядра флоры, разработан календарь пыления и выделены основные волны пыления растений.

В атмосфере п. Борок была обнаружена пыльца растений, относящихся к 27 таксонам, из которых 56 % принадлежит древесным формам и 44 % – травянистым.

В течение вегетационного сезона зафиксировано четыре пика концентрации пыльцы в воздухе. Первый связан с цветением видов рода *Alnus* Mill. в апреле. Вторым – с пылением видов рода *Betula* L. и видов семейства *Pinaceae* Lindl. в мае. Третий – цветение видов семейства *Poaceae* Bernhart. в начале июля. И четвертый пик – пыление видов рода *Urtica* L. в августе.

Для исследуемой территории выделены три волны пыления, различающиеся по качественному и количественному составу аэропалинологического спектра. Первая волна (с начала апреля по начало июня) – пыление древесных таксонов. В этот период наблюдается самое высокое содержание пыльцы в воздухе (80 % от общего количества). Доминирующий таксон – *Betula*, на долю которого приходится 52 % от суммарного содержания пыльцы за первую волну пыления. Вторым по обилию таксон – *Alnus* (20 %). Прочие таксоны весеннего спектра – *Pinus* L., *Picea* A. Dietr., *Populus* L., *Acer* L., *Salix* L., *Ulmus* L., *Quercus* L., *Fraxinus* L., *Rosaceae* Juss. Вторая, июньская, волна – пыление злаков. Основным таксоном аэропалинологических спектров в этот период является *Poaceae* (61 % суммарного содержания пыльцы за вторую волну пыления). Доля *Pinus* – 12 %, *Betula* – 11 %, *Urtica* – 5 %, *Rosaceae* и *Tillia* – по 4 %. Третья волна (со второй декады июля по начала сентября) – пыление сорных трав. Наиболее активно в этот период пылит *Urtica* (62 % от суммарного содержания пыльцы за третью волну пыления), доля *Chenopodiaceae* Vent. – 10 %, *Artemisia* L. – 5 %.

В палиноспектрах обнаружено незначительное количество деформированной пыльцы (0,17 % от общего числа пыльцевых зёрен). Большинство тератных форм принадлежат семейству *Pinaceae*.

Доля непольцевых палиноморф в спектрах невелика – около 2 %. Они представлены остатками растительных тканей, спорами, частями тел членистоногих. Около половины объектов этой группы приходится на споры грибов (49 %).

Полученные данные могут быть использованы в палеоэкологических исследованиях при восстановлении истории естественных экосистем, а также в целях общественного здравоохранения для прогнозирования поллинозоопасных периодов.

Список литературы

1. Дзюба О. Ф. Атлас пыльцевых зерен (неацетолизированных и ацетолизированных), наиболее часто встречающихся в воздушном бассейне восточной Европы. Москва: Наука, 2005. 68 с.
2. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Ленинград: Наука, 1972. Т. 1. 172 с.
3. Принципы и методы аэропалинологических исследований / под редакцией Н. Р. Мейер-Меликян, Е. Э. Северовой. Москва: МГУ, 1999. 48 с.
4. Соколов С. М. и др. Методика аэробиологических исследований пыльцы растений и спор грибов для составления календарей пыления. Республиканский научно-практический центр гигиены. Минск, 2005. 27 с.

УДК 574

Содержание ртути в мышечной ткани окуня из озерно-речных систем Вологодской области

М. Д. Зимин

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
matvejzimun2345@gmail.com

Аннотация. В работе представлены данные по содержанию ртути в мышечной ткани речного окуня из озер Белое и Кубенское и рек Шексна и Сухона Вологодской области. Концентрация ртути в мышцах окуня варьирует в пределах от 0,007 до 1,791 мг/кг сырой массы. Отмечено, что количество металла у окуней, отловленных в озерах статистически значимо выше, чем у рыб, отловленных в реках.

Ключевые слова: ртуть, речной окунь, Вологодская область

Abstract. The paper presents data on the mercury content in the muscle tissue of river perch from lakes Beloe and Kubenskoye and the Sheksna and Sukhona rivers of the Vologda region. The concentration of mercury in the muscles of perch varies from 0,007 to 1,791 mg/kg wet weight. It was noted that the amount of metal in perches caught in lakes was statistically significantly higher than in fish caught in rivers.

Keywords: mercury, perch, Vologda region

В озерах Вологодской области неоднократно регистрировались высокие значения (>1) содержания ртути в мышцах рыб [2, 3]. Отмечено, что доля рыбы из местных водоемов, употребление которой может привести к превышению допустимой недельной нормы поступления ртути в организм человека, составляет около 40% для детей дошкольного возраста (2–5 лет) и 15% для взрослых [4].

Речной окунь (*Perca fluviatilis* L.) – массовый вид, который встречается в разнотипных водных объектах Северо-Запада России, занимая весомую долю в структуре промышленного и любительского рыболовства [1].

Цель работы – определить накопление ртути в мышцах речного окуня в озерно-речных системах Вологодской области.

Определение концентрации ртути в мышечной ткани окуня, отловленных сотрудниками Вологодского филиала ФГБНУ "ВНИРО" в водоемах и водотоках Вологодской области (о. Белое, р. Шексна, о. Кубенское, р. Сухона), проводилось на ртутном анализаторе РА-915М.

В озерно-речной системе озеро Белое – река Шексна было собрано 174 образца мышц окуня. В системе озеро Кубенское – река Сухона – 72 образца.

Содержание ртути в мышцах окуня отловленного из разных озерно-речных системах Вологодской области в среднем составляет $0,21 \pm 0,02$ мг/кг, сырой массы. При этом минимальные средние концентрации отмечены в реке Шексна ($0,17 \pm 0,01$ мг/кг, сырой массы), максимальные отмечены в озере Кубенском ($0,96 \pm 0,01$ мг/кг, сырой массы).

Установлена прямая положительная корреляционная связь между количеством ртути в мышцах рыб и их длиной ($R_s=0,47$, при $p<0,05$) и массой тела ($R_s=0,47$, при $p<0,05$).

Согласно СанПин, действующему в России, концентрация ртути в хищных пресноводных видов рыб не должна превышать 0,6 мг/кг сырой массы. Сравнение полученных результатов с ПДК показало, что содержа-

ние металла в мышцах окуня из исследованных озерно-речных систем отмечено у 19 % особей.

Список литературы

1. Борисов М. Я., Коновалов А. Ф., Думнич Н. В. Рыбы в Вологодской области. Череповец: ИД Порт-Апрель, 2019. 128 с.
2. Степанова И. К., Комов В. Т. Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология. 1997. № 4. С. 295–299.
3. Степанова И. К., Комов В. Т. Роль трофической структуры экосистемы водоемов Северо-Запада России в накоплении ртути в рыбе // Гидробиологический журнал. 2004. Т. 40, № 2. С. 87–96.
4. Ivanova E. et al. Assessment of the consumptive safety of mercury in fish from the surface waters of the Vologda region in northwestern Russia // Environ Geochem Health 45, 2023. P. 863–879. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01254-4>

УДК 504

Оценка содержания ртути в зеленых насаждениях г. Череповца

Е. С. Иванова, М. А. Ульянова, О. Ю. Румянцева

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
maulianova@chsu.ru

Аннотация. Зеленые насаждения г. Череповца испытывают значительную техногенную нагрузку и способны аккумулировать различные загрязняющие вещества, в том числе и ртуть. В работе представлены данные по содержанию ртути в листьях разных видов древесных и кустарниковых растений индустриального района г. Череповца. Биоаккумуляция ртути листьями разных видов растений происходит неодинаково. Отмечено, что нелистопадные деревья имеют минимальные уровни ртути в листьях – $9,80 \pm 1,01$ нг/г, кустарниковые формы – промежуточные значения ($12,47 \pm 0,92$ нг/г), листопадные деревья – самые высокие концентрации ($16,95 \pm 0,56$ нг/г).

Ключевые слова: ртуть, аккумуляция, листья, биоиндикаторы.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Abstract. The green plantings of Cherepovets experiencing a significant technogenic load and accumulate various pollutants, including mercury. At the

same time, plant leaves act as natural bioindicators of the state of the ecosystem, showing the level of environmental pollution by the toxicant. The data on the content of mercury in the leaves of different types of woody and shrubby plants of the industrial area of Cherepovets are presented. The bioaccumulation of mercury by the leaves of different plant species occurs differently. It was noted that non-deciduous trees have the lowest levels of mercury in leaves – $9,80 \pm 1,01$ ng/g, shrub forms have intermediate values – $12,47 \pm 0,92$ ng/g and deciduous trees the highest concentrations – $16,95 \pm 0,56$ ng/g.

Keywords: mercury, accumulate, leaves, bioindicators.

Gratitude. The work was supported by the Russian Science Foundation under grant No. 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Ртуть и ее соединения относятся к веществам 1-го класса опасности и способны оказывать широкий и разносторонний спектр негативных воздействий на живые организмы. Попадая в воздушное пространство, ртуть выпадает на земную или водную поверхность как вблизи источников эмиссии, так и на большом расстоянии от них в результате атмосферного переноса [1]. Растения являются естественным биологическим фильтром, при этом листья занимают одну из ведущих позиций в поглощении выбросов промышленности и автотранспорта, и аккумулируют тяжелые металлы, в том числе и ртуть [2, 3]. Изучая содержание ртути в органах зеленых насаждений города, можно оценить аэротехногенную нагрузку на экосистему (уровень загрязнения среды токсикантом) [4]. Череповец – промышленный город, в котором действуют предприятия чёрной металлургии, химического комплекса, дерево- и металлообработки, пищевой и лёгкой промышленности, строительного комплекса, поэтому его зеленые насаждения испытывают значительную техногенную нагрузку и аккумулируют в себе различные загрязняющие вещества, в том числе и ртуть.

Цель работы оценить роль зеленых насаждений территории промышленного района г. Череповца в аккумуляции ртути.

Содержание ртути определяли в листьях следующих видов растений: *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Cornus alba*, *Crataegus sp.*, *Larix sp.*, *Lonicera tatarica*, *Malus sp.*, *Picea abies*, *Picea pungens*, *Pinus sylvestris*, *Populus nigra*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Sorbus aucuparia*, *Symphoricarpos albus*, *Taraxacum officinale*, *Thuja occidentalis*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*.

Органы растений отбирались в летний период 2022 года на разных участках промышленного района города с высоты один и два метра, с разных сторон кроны. Содержание ртути в образцах определяли на базе Регионального центра коллективного пользования Череповецкого госу-

дарственного университета на ртутном анализаторе РА-915М. Перед анализом все пробы высушивали до постоянного веса и измельчались.

При сравнении содержания ртути в листьях, собранных на разных уровнях и с разных сторон крон деревьев статистически значимых различий не установлено. Таким образом, высота и ориентация кроны не влияют на результаты. Поэтому, при сравнении концентраций ртути между видами, использовали среднее значение листьев со всех крон и высот.

Минимальные концентрации ртути (нг/г) отмечены у кустарника – дерен белый (*Cornus alba*) – $6,66 \pm 0,97$, а также у ели голубой (*Picea pungens*) – $7,05 \pm 1,52$ и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) – $10,35 \pm 2,17$. Максимальные концентрации ртути (нг/г) отмечены у липы сердцевидной (*Tilia cordata*) – $22,03 \pm 2,64$, липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*) – $25,41 \pm 1,30$, лиственницы (*Larix sp.*) – $26,34 \pm 3,28$.

При оценке содержания ртути в листьях древесных насаждений разных жизненных форм отмечено, что нелистопадные деревья имеют самые минимальные уровни ртути в листьях – $9,80 \pm 1,01$ нг/г, промежуточное значение отмечено в листьях кустарниковых форм – $12,47 \pm 0,92$ нг/г. Статистически значимо самые высокие концентрации ртути отмечены в листьях листопадных деревьев – $16,95 \pm 0,56$ нг/г

Таким образом, биоаккумуляция ртути листьями разных видов растений происходит неодинаково. Наиболее высокие значения накопления металла отмечены у липы (*Tilia sp.*) и лиственницы (*Larix sp.*). Количество ртути в листьях липы и лиственницы в два раза выше, чем у нелистопадных видов деревьев: ель голубая (*Picea pungens*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и туя западная (*Thuja occidentalis*).

Поглащающая способность ртути листьями древесных насаждений уменьшается в ряду: лиственница (*Larix sp.*) > липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*) > липа сердцевидная (*Tilia cordata*) > яблоня (*Malus sp.*) > клен ясенелистный (*Acer negundo*) > клен остролистный (*Acer platanoides*) > дуб черешчатый (*Quercus robur*) > боярышник (*Crataegus sp.*) > рябина красная (*Sorbus aucuparia*) > тополь бальзамический (*Populus balsamifera*) > снежнаягодник белый (*Symphoricarpos albus*) > жимолость татарская (*Lonicera tatarica*) > береза повислая (*Betula pendula*) > туя западная (*Thuja occidentalis*) > сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) > ель голубая (*Picea pungens*) > дерен белый (*Cornus alba*).

Список литературы

1. Ртуть. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды / перевод с английского. Женева: ВОЗ, 1979. 150 с.

2. Чернышенко О. В. Поглощительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города. Москва: МГУЛ, 2001. 120 с.
3. Hrotkó K. et al. Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary) // *Environmental geochemistry and health*. 2021. Vol. 43(5). P. 1927–1940. DOI: 10.1007/s10653-020-00769-y
4. Li Y., Wang Sh., Chen Q. Potential of thirteen urban greening plants to capture particulate matter on leaf surfaces across tree level of ambient atmospheric pollution // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16(3). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30708968/>

УДК 504

**Изотопный состав углерода (соотношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) шерсти
млекопитающих, собранных в разные временные периоды на
территории Северо-Запада России**

Е. С. Иванова¹, В. Т. Комов², Л. С. Ельцова³, И. Ю. Мизгирева⁴
^{1,2,3,4}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
²Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Россия
esivanova@chsu.ru

Аннотация. Полученные данные об изотопном составе углерода в шерсти млекопитающих, отражают “изотопный ландшафт”, характерный для Северо-Запада европейской части России. Установленные в данном исследовании различия показателей $\delta^{13}\text{C}$ шерсти четырех видов млекопитающих (*Mustela putorius* L., 1758; *Ursus arctos* L., 1758; *Vulpes vulpes* L., 1758; *Castor fiber* L., 1758), собранных в период 1900-2020 гг. позволят оценить степень изменения изотопного состава атмосферы за исследуемый период.

Ключевые слова: млекопитающие, шерсть, изотопный анализ

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Abstract. The obtained data on the isotopic composition of mammals reflect the “isotopic landscape” characteristic of the North-West of the European part of Russia. The differences in $\delta^{13}\text{C}$ parameters in the wool of four mammal species (*Mustela putorius* L., 1758; *Ursus arctos* L., 1758; *Vulpes vulpes* L., 1758; *Castor fiber* L., 1758) collected in the period 1900-2020 were established in this study. will allow us to estimate the degree of change in the isotopic composition of the atmosphere over the period under study.

Key words: mammals, wool, isotope analysis

Gratitude. The work was supported by the Russian Science Foundation under grant No. 23-24-00385, <https://rscf.ru/project/23-24-00385/>

Сжигание ископаемого топлива и изменения в землепользовании в индустриальный период привели к существенным изменениям состава атмосферы на протяжении последних столетий [1, 2]. Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$) представителей любого уровня трофической цепи отражает изотопный состав исходного ресурса. Поэтому целью работы стало – сравнение соотношения стабильных изотопов углерода шерсти млекопитающих, обитающих на европейской части России в разный временной период (1900–2020 годы).

Исследование проводилось на базе Регионального центра коллективного пользования Череповецкого государственного университета. Сбор шерсти производился в музеях природы Вологодской области и с помощью охотников, которые имели лицензию на добычу промысловых видов млекопитающих. Изотопный анализ проводили на изотопном масс-спектрометре Изотопный масс-спектрометр Delta V Advantage фирмы Thermo Finnigan.

Сравнение показателей соотношения стабильных изотопов углерода в образцах шерсти музейных (особи собраны на территории Вологодской области до 1980 г.) и современных млекопитающих (собраны после 2015 г.) Вологодской области проводили на примере обыкновенного бобра (*Castor fiber*) и хищных млекопитающих: хорька (*Mustela putorius*), лисицы (*Vulpes vulpes*) и медведя (*Ursus arctos*).

Соотношение стабильных изотопов углерода в шерсти обыкновенного бобра из музейных коллекций находилось в пределах от $-25,6 \pm 0,3 \text{ ‰}$ до $-24,5 \pm 0,3 \text{ ‰}$ и в среднем $\delta^{13}\text{C}$ составило $-25,1 \pm 0,3 \text{ ‰}$.

Изотопный состав углерода в шерсти бобров, добытых охотниками составил от $-27,7$ до $-26,2 \text{ ‰}$, а среднее значение было $-26,7 \pm 0,2 \text{ ‰}$. Установлены статистически значимые различия между соотношением изотопов углерода в шерсти бобров, собранных в музеях Вологодской области и у охотников.

Соотношение стабильных изотопов углерода в шерсти хищных млекопитающих составило: хорь $-22,7 \pm 0,77 \text{ ‰}$; лисица $-23,9 \pm 1,18 \text{ ‰}$; медведь $-23,1 \pm 1,08 \text{ ‰}$. Установлены статистически значимые различия между соотношением изотопов углерода в шерсти бобров, собранных в музеях Вологодской области и у охотников.

Для всех исследованных видов хищных млекопитающих отмечено, что изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти особей, собранных на террито-

рии Вологодской области до 1960г статистически значимо выше (более обогащен тяжелым изотопом ^{13}C) на 1-1,5 ‰, чем данный показатель у особей, собранных на территории исследования после 2000 г.

Установлена статистически значимая отрицательная корреляционная связь между изотопным составом углерода в шерсти хоря ($R_s=-0,62$, при $p\leq 0,05$), медведя ($R_s=-0,89$, при $p\leq 0,05$) и лисицы ($R_s=-0,47$, при $p\leq 0,05$) и временем отлова животных на территории Вологодской области.

Список литературы

1. Keeling C. D., Moor W. G., Tans P. P. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide // Nature. 1979. Vol. 277. P. 121–123. doi.org/10.1038/277121a0
2. Francey R. J. et al. A 1000-year high precision record of $\delta^{13}\text{C}$ in atmospheric CO_2 // Tellus B. 1999. Vol. 51. № 2. P. 170–193.

УДК 902. 672

Анализ аэропалинологического спектра города Череповца в 2021 году (Вологодская область, Северо-Запад России)

А. В. Камыгина¹, К. А. Комаров², Н. Б. Афанасьева³, Н. Я. Поддубная⁴

^{1,3}Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Москва, Россия

^{1,2,3,4}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
¹camygina@yandex.ru

Аннотация. В исследовании представлены данные о составе пыльцевого дождя в атмосфере города Череповца в 2021 году, полученные методом гравиметрического отбора проб. Идентифицировано двадцать восемь пыльцевых типов, одиннадцать из которых являются наиболее распространёнными возбудителями поллинозов. По результатам работы были выявлены два пика пыления: весенний пик (с апреля по май) и летний пик (с середины июня по июль). В пыльцевом спектре доминирует пыльца березы (47 %), сосны (27 %) и ольхи (13 %).

Ключевые слова: аэробиология, пыльцевые зерна, аллергенные таксоны, поллиноз.

Abstract. The study presents data of the pollen composition the Cherepovets atmosphere in 2021, obtained by the gravimetric sampling method. Twenty-

eight types of the pollen have been identified, eleven of which are the most common allergenic types. According to the results of the study, two peaks of pollen grain quantity were revealed: spring peak (from April to May) and summer peak (from middle June to July). The genera *Betula* (47 %), *Pinus* (27 %) and *Alnus* (13 %) dominate in the pollen spectrum.

Keywords: aerobiology, airborne pollen types, allergenic taxa, pollinosis.

Введение. В настоящее время аллергия – очень значимая проблема общественного здравоохранения. Изучение аллергических заболеваний, включая поллинозы, является важной областью исследования.

Поллиноз – аллергическое заболевание слизистых оболочек, вызванное гиперчувствительностью к аэрозольным аллергенам. Численность людей, страдающих поллинозом, увеличивается на 20 % каждые 10 лет. По данным ВОЗ, к 2050 году половина населения будет страдать от аллергических расстройств. Атмосферные аэрозоли, такие как пыльца, споры растений и грибов, являются важными компонентами окружающей среды, способными существенно влиять на качество жизни людей. Пыльца, будучи одним из самых значимых аллергенов в воздушной среде, также может являться переносчиком бактериальных агентов и спор грибов, что усиливает аллергические реакции, поэтому оценка риска пыления так важна для общественного здравоохранения [2, 3].

Аэропалинология – это область биологии, изучающая состав и закономерности формирования пыльцевого дождя. Основные задачи аэропалинологии включают оценку состава пыльцевых спектров, изучение динамики пыления и факторов, влияющих на него, а также составление прогноза пыления [5]. Важность изучения пыльцевого спектра во многом обосновывается ростом числа людей, страдающих поллинозом. Однако в нашей стране недостаточно аэропалинологических пунктов, что негативно сказывается на точности прогноза аллергенной обстановки.

При этом изменение условий окружающей среды, таких как загрязнение воздуха и изменение климата, влияет на масштабы и сроки опыления. В связи с чем прогнозирование начала и конца пыления в каждом регионе и составление календарей пыления имеет огромное значение.

Объект и метод исследования. Исследования проводились в городе Череповце (59°07'59" северной широты, 37°53'59" восточной долготы, 130-140 м над уровнем моря), расположенном в центральной части Восточно-Европейской равнины, на Северо-Западе европейской части России в подзоне южной тайги. Растительный покров данной территории в основном образован лесами: ельниками, сосняками, березняками, осинниками и сеороольшаникам. Состав древостоя Череповецкого района включает в себя

не только типичные таёжные виды, но и растения широколиственных лесов, такие, как дуб, клён, вяз, липа.

На территории города Череповца произрастает большое количество аллергенных растений. В их числе представители следующих хозяйственно-ботанических групп:

- лиственные древесные растения родов ива, берёза, ольха;
- хвойные растения родов сосна, ель;
- злаковые растения родов ежа, мятлик, тимофеевка, лисохвост;
- сорные растения родов марь, крапива, полынь [4].

Расположение на севере умеренного пояса определяет незначительное количество приходящей солнечной радиации с чётко выраженной сезонностью её поступления. Преобладающими ветрами на территории области являются ветра Северо-Западного, западного и юго-западного направлений [1].

Сбор аэропалинологических образцов проводился в городе Череповце в период вегетации с апреля по сентябрь 2021 года при помощи гравиметрического пылеуловителя Дюрам-типа, который был установлен на открытом пространстве крыши в центре города вдали от стен и других укрытий на высоте около 15 м. В пылеуловителях данного типа пыльцевые зёрна, циркулирующие в воздушном пространстве, пассивно оседают на предметные стёкла с глицерин-желатиновой смесью. Процедуры по установке и замене предметных стёкол проводились ежедневно.

Определение и подсчёт всех пыльцевых зёрен на площади 1 см² предметного стекла каждой пробы производились с использованием светового микроскопа Olympus. Для распределения обнаруженных пыльцевых типов по таксонам использовались специализированные определители и справочная палинотека.

На основе полученных данных составлялся календарь пыления при помощи 'AeRobiology' R package.

Споры грибов, плаунов и других непыльцевых палиноморф также фиксировались, но их анализ проводился отдельно.

Полученные результаты. По результатам аэропалинологического исследования 2021 году в атмосфере города Череповца было выявлено 28 таксонов (*Acer*, *Alnus*, *Artemisia*, *Asteraceae*, *Betula*, *Boraginaceae*, *Carex*, *Chenopodiaceae*, *Corylus*, *Cruciferae*, *Epilobium*, *Fraxinus*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Plantago*, *Poaceae*, *Polygonaceae*, *Populus*, *Quercus*, *Rosaceae*, *Rumex*, *Salix*, *Tilia*, *Typha*, *Ulmus*, *Apiaceae*, *Urtica*).

Пыльца древесных и кустарниковых растений составила 96 % от общего количества отловленных пыльцевых зёрен в спектре, а травянистых растений – всего 4 %.

По полученным данным прослеживается два пика пыления: первый пик – весенний (апрель-май), обусловленный цветением анемофильных древесных и кустарниковых растений; второй пик – летний (середина июня-июль), связан с цветением травянистых растений.

Пыльца видов рода *Betula* является преобладающим аэропалинологическим компонентом в атмосфере города Череповца и составляет практически половину (47 %) годовой суммы всех пыльцевых зёрен. Ареал данного растения крайне обширен. Оно произрастает в зоне лесов Европейской части России, в Сибири, на Кавказе и Алтае, а также во всех странах Европы. Аллергены, находящиеся в пыльцевых зёрнах берёзы, являются одними из наиболее активных в составе пыльцевого спектра деревьев. Зацветая ранней весной (апрель-май), берёза выбрасывает в атмосферный воздух огромные количества пыльцы. В свою очередь пыльцевые зёрна рода *Betula* были обнаружены на протяжении всего мониторинга пыльцевого дождя, хотя цветение происходит лишь в весенний пик. Данное явление может быть обусловлено вторичным поднятием пыльцы с субстрата, что является характерной чертой для растений с высокой пыльцевой продуктивностью.

Меньший, но также значимый вклад в воздушный спектр города Череповца в 2021 году вносит пыльца видов родов *Pinus* (27 %) и *Alnus* (13 %). Количество других таксонов в палиноспектре по отдельности незначительно. Эти таксоны играют важную роль как в весеннем, так и в летнем пиках пыления. Несмотря на существенно меньшую пыльцепродуктивность травянистых растений в сравнении с древесными, важными составляющими второго пика являются также *Artemisia*, *Asteraceae*, *Poaceae* и *Urtica* (в целом ~2,5 % от общего числа пыльцевых зёрен).

Большая часть обнаруженной пыльцы (97 %) является аллергенной – это пыльца таких растений, как *Alnus*, *Betula*, *Picea*, *Pinus*, *Salix*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Plantago*, *Poaceae*, *Urtica*.

Также кроме пыльцевых зёрен были обнаружены непыльцевые палиноморфы: растительные остатки, членистоногие и их части, споры грибов, плаунов и моховидных.

Выводы. В результате проведённого аэропалинологического исследования в палиноспектре города Череповца в 2021 году было выявлено 28 таксонов: 14 из них относились к древесным и кустарниковым растениям; 14 таксонов принадлежали к группе травянистых растений. При этом пыльца древесных и кустарниковых растений составила 96 % от общего количества отловленных пыльцевых зёрен в спектре, а травянистых растений – всего 4 %.

Пыльца видов рода *Betula* является преобладающим компонентом аэропланктона города Череповца. Её содержание составляет почти половину (47 %) годовой суммы всех пыльцевых зёрен. Меньший, но также значимый вклад в аэроспектр вносит пыльца видов родов *Pinus* (27 %) и *Alnus* (13 %). Роль других таксонов в палиноспектре по отдельности незначительна.

Помимо пыльцевых зёрен в воздушной среде были обнаружены непыльцевые палиноморфы, их количество в спектре по сравнению с пыльцевыми зёрнами также незначительно.

Список литературы

1. Воробьева Г. А. Природа Вологодской области. Вологда: Вологжанин, 2007. 440 с.
2. Кобзарь В. Н. Аэропалинологический мониторинг в горно-морском курорте // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5, № 1. С. 33–43.
3. Кобзарь, В. Н. Стратегия загрязнения пыльцы *Artemisia* и *Chenopodiaceae*/ В. Н. Кобзарь // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7, № 2. С. 10–28.
4. Новиков Д. К. и др. Аллергические болезни. Витебск: ВГМУ, 2012. 204 с.
5. Соколов С. М. и др. Методика аэробиологических исследований пыльцы растений и спор грибов для составления календарей пыления. Минск: Министерство здравоохранения республики Беларусь, 2005. 27 с.

УДК 572. 02

Содержание ртути в волосах студентов Ярославского государственного медицинского университета

А. А. Колесова¹, О. Ю. Румянцева², С. С. Сидоров³, Ю. Д. Балашова⁴,
А. А. Тоболева⁵, Е. В. Сальников⁶, Е. С. Иванова⁷

^{1,3,4,5,6}Ярославский государственный медицинский университет,
Ярославль, Россия

^{2,7}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
oiumaksimova@chsu.ru

Аннотация. Среднее содержание ртути в волосах студентов Ярославского государственного медицинского университета – 0,136 мг/кг. Среднее значение ртути в волосах местных студентов составляет (n=14) – 0,150 ± 0,035 мг/кг, среднее значение в волосах приезжих (n=73) – 0,143 ± 0,031 мг/кг. При сравнении по федеральным округам и другим странам, средние значения составили: ЦФО (0,16 мг/кг), СЗФО (0,123 мг/кг),

УРФО (0,056 мг/кг), СКФО (0,047 мг/кг), ЮФО (0,072 мг/кг), Беларусь (0,061 мг/кг), Узбекистан (0,045 мг/кг). Содержание ртути в волосах людей с высокой частотой потребления рыбы в рационе питания выше (0,157 мг/кг) по сравнению с потреблением рыбы менее одного раза в месяц (0,114 мг/кг).

Ключевые слова: ртуть в волосах, студенты, индекс массы тела, регион проживания, Ярославль

Abstract. The average content of mercury in the hair of students of the Yaroslavl Medical University is 0,136 mg/kg. The average value of mercury in the hair of local students (n=14) is $0,150 \pm 0,035$ mg/kg, the average value in the hair of visitors (n=73) is $0,143 \pm 0,031$ mg/kg. When applied by federal districts, the average values were: Central Federal District (0,16 mg/kg), Northwestern Federal District (0,123 mg/kg), Ural Federal District (0,056 mg/kg), North Caucasian Federal District (0,047 mg/kg), Southern Federal District (0,072 mg/kg), Belarus (0,061 mg/kg), Uzbekistan (0,045 mg/kg). Hair mercury levels in people with high dietary fish intake (0,157 mg/kg) compared with higher fish intake less than once a month (0,114 mg/kg).

Keywords: Mercury in hair, students, body mass index, region of residence, Yaroslavl

Введение. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ртуть (Hg) относится к веществам первого класса опасности [4]. Из атмосферного воздуха пары и аэрозоли ртути попадают в водные объекты с осадками или же в результате седиментации. В промышленных сточных водах соединения металла находятся во взвешенном состоянии, но имеют тенденцию выпадать в осадок на дне очистных сооружений и водоемов. Ртуть способна накапливаться и мигрировать по пищевым цепям водных и наземных экосистем. Известно, что водная микрофлора легко преобразует за счет процессов метилирования металлическую ртуть и ее неорганические соединения в наиболее опасную и устойчивую форму метилртути. Токсическое действие обусловлено высоким сродством ионов ртути к сульфгидрильным группам белков и высокой тропности катионов.

Для определения количества поступившей ртути в организм используются несколько биосубстратов: моча, кровь, ногти, грудное молоко и волосы. Из всех биосубстратов человека, используемых для проведения мониторинга, наибольший интерес представляют волосы, в связи с легкостью отбора образцов, удобностью их транспортировки и хранения, а также доказанной корреляции содержания тяжелых металлов в волосах с их уровнем во внутренних органах. Определение концентрации металла в волосах является более точным методом, так как именно в них наблюдается

наиболее медленное изменение содержания ртути в сравнении с кровью и мочой.

Поскольку ртуть негативно влияет на состояние здоровья человека и состояние здоровья молодых людей может быть предвестником изменений в состоянии здоровья населения в последующие годы, то целью нашего исследования стала оценка накопления ртути в волосах студентов Ярославского государственного медицинского университета (ЯГМУ).

Материалы и методы. В 2022 году был проведен скрининг содержания ртути в волосах у студентов ЯГМУ в возрасте от 17–24 лет (учащиеся 1–6 курсов). В исследовании приняли участие 90 добровольцев за период с осени 2022 года по весну 2023 года. Согласно рекомендациям ВОЗ, образцы волос были собраны в виде пряди толщиной несколько миллиметров и сострижены с затылочной части головы хирургическими ножницами из нержавеющей стали. Полученные образцы были упакованы в индивидуальный бумажный конверт и хранились в пластиковом пакете при комнатной температуре.

Каждый участник заполнил анкету с указанием своего возраста, пола, роста, веса, места рождения, места проживания, факультета, сферы работы, статуса курения, периодичности потребления рыбы и ее количества. По данным анкет опрошенных, было проведено разделение их на 2 отдельные группы: местные (коренные жители Ярославля) и приезжие (иностранцы студенты, поступившие в ЯГМУ с разной периодичностью). Отдельно было проведено распределение обучающихся в группы в зависимости от принадлежности к разным областям и федеральным округам РФ, а также республикам, находящимся за ее пределами. На основании указанных в анкете данных о росте и весе, в соответствии с рекомендациями ВОЗ, был проведен расчет индекса массы тела (ИМТ).

Программа данного исследования была обсуждена и одобрена Этическим комитетом Ярославского государственного медицинского университета (Выписка этической комиссии от 17. 11. 22 №58).

Содержание ртути в волосах определялось в образцах длиной примерно равной 2 см от корня. Концентрацию общей ртути в волосах человека определяли на базе Регионального центра коллективного пользования ЧГУ атомно-абсорбционным методом без предварительной подготовки пробы на ртутном анализаторе РА-915М и приставки ПИРО 915 + (ООО «Люмэкс», Санкт-Петербург, Россия). Точность прибора была проверена с использованием сертифицированных стандартных образцов NIMD-1 (волосы человека, Национальный институт болезни Минамата, Япония).

Статистический анализ данных проводили с помощью программы STATISTICA, для сравнения двух и более выборок использовали непараметрические критерии (Манн-Уитни, Краскала-Уоллиса).

Результаты и их обсуждение. Содержание ртути в волосах студентов ЯГМУ варьирует в широких пределах от менее 0,001 до 1,398 мг/кг. Среднее содержание составляет $0,136 \pm 0,021$ мг/кг, что значительно ниже, чем уровень ртути в волосах студентов Череповецкого университета (0,200 мг/кг) [1] и студентов из Польши (0,208 мг/кг) [2].

У одного студента отмечено содержание ртути (1,398 мг/кг) в волосах выше рекомендованного безопасного значения для взрослого населения (1 мг/кг).

При сравнении уровней ртути между коренными жителями Ярославской области и иногородними студентами не установлено статистически значимых различий. Среднее значение ртути в волосах местных студентов составляет ($n=14$) $0,150 \pm 0,035$ мг/кг, среднее значение в волосах приезжих ($n=73$) $0,143 \pm 0,031$ мг/кг. При сравнении по федеральным округам и другим странам средние значения составили:

для ЦФО – 0,16 мг/кг;

СЗФО – 0,123 мг/кг;

УРФО – 0,056 мг/кг;

СКФО – 0,047 мг/кг;

ЮФО – 0,072 мг/кг;

Беларуси – 0,061 мг/кг;

Узбекистана – 0,045 мг/кг.

При сравнении значений ртути между женщинами и мужчинами статистически значимых различий не установлено как в целом по выборке (женщины – 0,133 мг/кг, мужчины – 0,148 мг/кг), так и для местных (женщины – 0,122 мг/кг, мужчины – 0,253 мг/кг) и приезжих студентов (женщины – 0,135 мг/кг, мужчины – 0,136 мг/кг).

Основным источником поступления ртути в организм человека, является рыба [3], поэтому было оценено значения ртути в волосах у людей с разной частотой потребления рыбы в рационе питания. Содержание ртути в волосах людей с высокой частотой потребления рыбы в рационе питания выше (0,157 мг/кг) по сравнению с потреблением рыбы менее одного раза в месяц (0,114 мг/кг). Такая закономерность характерна как для местных студентов (часто – 0,157 мг/кг, редко – 0,124 мг/кг), так и для иногородних (часто – 0,157 мг/кг, редко – 0,124 мг/кг).

При оценке влияния статуса курения на накопление ртути значимых различий не отмечено. Содержание ртути в волосах курящих студентов – 0,139 мг/кг, некурящих – 0,135 мг/кг.

При проведении корреляционного анализа по Спирмену между уровнем ртути и ИМТ связи не отмечено. При этом, среднее значение ртути для первой категории (недостаточный вес) – 0,094 мг/кг, второй категории (нормальный вес) – 0,148 мг/кг, третья категория (избыточный вес) – 0,129 мг/кг, четвертая категория (ожирение) – 0,193 мг/кг.

Выводы. Среднее значение ртути в волосах студентов ЯГМУ ниже, чем в волосах студентов других регионов. Вероятнее всего это связано с особенностями рациона питания. У одного студента отмечено превышение нормированных уровней (1 мг/кг). Среднее содержание ртути выше в волосах студентов с частым потреблением рыбы. Не установлено различий по содержанию ртути между женщинами и мужчинами, по статусу курения, а также ИМТ.

Список литературы

1. Aleksina I., Komov V. Factors affecting the mercury concentration in the hair of young residents of the Vologda region, Russia. 2020.
2. Chojnacka K., Zielińska A., Górecka H., Dobrzański, Z., & Górecki, H. Reference values for hair minerals of Polish students. Environmental toxicology and pharmacology. 2010.
3. Rumiantseva, O., Ivanova, E. & Komov, V. High variability of mercury content in the hair of Russia Northwest population: the role of the environment and social factors. Int Arch Occup Environ Health 95, 2022. P. 1027–1042.
4. WHO. Mercury-and-health. 2017.

УДК 576. 5, 618. 177

Верификация рецепторов к эстрогену и прогестерону в различных эндометриальных клеточных линиях человека и их роль в децидуализации

А. И. Корнилова, А. П. Домнина

Институт цитологии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия
an.kornilova@mail.ru

Аннотация. Эндометриоз является распространенным гинекологическим заболеванием, при котором нарушаются процессы децидуализации – важного этапа трансформации эндометрия, необходимого для наступления и развития беременности. Культивируемые *in vitro* клетки эндометрия человека (эндометриальные клеточные линии – ЭКЛ) являются моделью для изучения гинекологических патологий. Исследование посвящено

изучению экспрессии рецепторов эстрогена (ER) и прогестерона (PR) в ЭКЛ, полученных от доноров без эндометриоза и пациентов с эндометриозом, и оценке их способности к децидуализации. Было получено 6 ЭКЛ из биоптатов эндометрия от трех пациентов с эндометриозом и трех доноров без эндометриоза. Было выявлено, что все ЭКЛ проявляли адгезивные свойства к культуральному пластику и характеризовались фибробластоподобной морфологией клеток. По экспрессии поверхностных маркеров они представляли собой популяции мезенхимных стволовых клеток и имели нормальный кариотип. Во всех ЭКЛ была определена экспрессия ER и PR. Содержание мРНК обоих типов рецепторов в ЭКЛ, полученных от доноров без эндометриоза, по сравнению с ЭКЛ, полученными от пациентов с эндометриозом, не имело значимых различий. В двух из шести ЭКЛ, полученных от донора без эндометриоза и пациента с эндометриозом, были обнаружены замены нуклеотидов в 4-м, 5-м и 8-м экзонах, кодирующих лиганд связывающий домен рецептора прогестерона (ЛСД-PR), которые, по-видимому, не связаны с наличием эндометриоза. Индукция децидуализации с помощью комбинации эстрогена и прогестерона (E+P) и эстрогена и медроксипрогестерона 17-ацетат (E+MPA) вызвала повышение содержания маркера децидуализации – IGFBP-1 в ЭКЛ, полученных от одного пациента с эндометриозом и трех доноров без эндометриоза. В двух ЭКЛ, полученных от пациентов с эндометриозом, повышение IGFBP-1 не было отмечено, что свидетельствует о нарушении процесса децидуализации. Выявлена зависимость между эффективностью децидуализации ЭКЛ, индуцированной гормонами, и содержанием в них ER и PR.

Ключевые слова: эндометриоз, бесплодие, эндометрий человека, децидуализация, эндометриальная клеточная линия, рецепторы эстрогена и прогестерона.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-74-10126.

Abstract. Endometriosis is a common gynecological disease in which the processes of decidualization are disrupted – an important stage of endometrial transformation necessary for the onset and development of pregnancy. Cultured *in vitro* human endometrial cells (endometrial cell lines – ECL) are a model for the study of gynecological pathologies. The study is devoted to studying the expression of estrogen (ER) and progesterone (PR) receptors in ECL obtained from donors without endometriosis and patients with endometriosis, and assessing their ability to decidualize. 6 ECLs were obtained from endometrial biopsies from three patients with endometriosis and three donors without

endometriosis. It was revealed that all ECLs showed adhesive properties to culture plastic and were characterized by fibroblast-like cell morphology. According to the expression of surface markers, they represented populations of mesenchymal stem cells and had a normal karyotype. The expression of ER and PR was determined in all ECLs. The mRNA content of both types of receptors in ECLs obtained from donors without endometriosis, compared with ECLs obtained from patients with endometriosis, had no significant differences. In two of the six ECLs obtained from a donor without endometriosis and a patient with endometriosis, nucleotide substitutions were found in the 4th, 5th and 8th exons encoding the ligand-binding domain of the progesterone receptor (LSD-PR), which, apparently, are not associated with the presence of endometriosis. Induction of decidualization using a combination of estrogen and progesterone (E+P) and estrogen and medroxyprogesterone 17-acetate (E+MPA) caused an increase in the content of the marker of decidualization – IGFBP-1 in ECL obtained from one patient with endometriosis and three donors without endometriosis. In two ECLs obtained from patients with endometriosis, an increase in IGFBP-1 was not noted, which indicates a violation of the decidualization process. The dependence between the effectiveness of hormone-induced decidualization in ECLs and the content of ER and PR in them was revealed.

Keywords: endometriosis, infertility, human endometrium, decidualization, endometrial cell line, estrogen and progesterone receptors.

Gratitude. The research was carried out with the financial support of the RGNF within the framework of scientific project No. 22-74-10126.

Введение. Эндометриоз – это хроническое гинекологическое заболевание, высоко ассоциированное с бесплодием, и характеризующееся разрастанием клеток подобных эндометрию за пределами внутреннего слоя стенки матки. При эндометриозе часто нарушаются процессы децидуализации – секреторной трансформации эндометрия, обусловленные экспрессией рецепторов к женским половым стероидным гормонам – эстрогену и прогестерону, что может препятствовать успешному наступлению беременности и в дальнейшем приводить к ее осложнениям [2]. Ранее из эндометрия человека были выделены мезенхимные стволовые клетки, культивируемые *in vitro*. Эндометриальные клеточные линии (ЭКЛ) являются моделью для изучения различных гинекологических патологий. Известно, что ЭКЛ человека под воздействием индукторов способны к децидуализации в условиях *in vitro* [1].

Объект и метод исследования. Исследование проведено на клеточных линиях, выделенных из биоптатов эндометрия 3 гинекологически здоровых донора и 3 пациентов с эндометриозом. Все доноры предоставили

письменное информированное согласие на взятие и использование биоматериала в научных целях. На ранних пассажах все впервые полученные ЭКЛ были охарактеризованы по группе методов: (1) морфологический анализ клеток (окраска и описание), (2) иммунофенотипический анализ, (3) кариологический анализ, (4) иммунофлуоресцентный анализ – верификация рецепторов эстрогена (ER) и прогестерона (PR), (5) ПЦР-РВ анализ экспрессии мРНК рецепторов эстрогена и прогестерона, (6) секвенирование по Сэнгеру лигандсвязывающего доменарепетора прогестерона (ЛСД-PR), (7) эксперимент по децидуальной трансформации. Децидуальная дифференцировка ЭКЛ была достигнута путем культивирования клеток эндометрия в средах, содержащие различные индукторы – 8-бромциклический аденозинмонофосфат (8-Br-cAMP) и комбинации гормонов – эстрадиола (E) с гестагенами: прогестерон (P) и медроксипрогестерон 17-ацетат (MPA). В качестве маркера децидуализации использовали IGFBP-1, его содержание измеряли методом иммуноферментного анализа. В завершении определяли взаимосвязь между экспрессией ER и PR в ЭКЛ и их способностью к дифференцировке в децидуальном направлении.

Полученные результаты. Все полученные первичные клеточные линии эндометрия представляли собой популяции клеток, проявляющие адгезивные свойства к поверхности культурального пластика и имели фибробластоподобную морфологию клеток.

В результате иммунофенотипического анализа все ЭКЛ демонстрировали высокую экспрессию маркеров мезенхимного ряда (CD44, CD73, CD90, CD105, CD146) и низкую экспрессию маркеров гемопоэтического ряда (CD34, CD45, HLA-DR класса II). Таким образом, были получены популяции мезенхимных стромальных стволовых клеток.

Результаты кариологического анализа показали, что в ходе культивирования кариотип всех 6 ЭКЛ представлял собой нормальный кариотип (46, XX) и не было обнаружено хромосомных перестроек, изменяющих структуру и количество хромосом.

С помощью иммунофлуоресцентного анализа была проведена качественная оценка ER и PR, которая показала, что во всех ЭКЛ были выявлены оба типа рецепторов. С помощью ПЦР-РВ было проведено количественное определение мРНК рецепторов. Результаты показали, что в ЭКЛ, полученных от доноров без эндометриоза, содержание как ER, так и PR не имело значимых различий по сравнению с ЭКЛ, полученными от пациентов с эндометриозом. Следует отметить, что при увеличении объема выборок различия могут быть выявлены.

В настоящее время полиморфные варианты в гене PR являются одним из возможных факторов развития эндометриоза [3]. С целью выявления возможных изменений в последовательности гена было проведено секве-

нирование с 3-го по 8-й экзона, которые кодируют ЛСД-PR. В результате секвенирования в одной ЭКЛ от пациента с эндометриозом в 8-м экзоне была выявлена замена нуклеотида Т на С – rs500760. Данная мутация не приводит к замене аминокислоты, т. е. глицин в положении 886 заменился на глицин (Gln886Gln). Анализ 8-го экзона в одной ЭКЛ от здорового донора показал замену нуклеотида А на G – rs484389. Данное изменение находится в 3'нетранслируемой области ДНК. Такие изменения обычно не являются значимыми, возможно, они могут влиять на стабильность белка. У этих двух ЭКЛ были обнаружены одинаковые замены нуклеотидов – G на Т в 4-м экзоне и G на А в 5-м. Данные варианты входят в аллель PROGINS, наличие которого связывают с миомой матки и эндометриозом. Учитывая характер обнаруженных замен нуклеотидов можно предположить, что данные полиморфизмы не носят значимый характер и, по-видимому, не связаны с наличием эндометриоза. Для уверенных выводов также необходимо увеличить выборку доноров эндометрия.

Эксперимент по изучению способности ЭКЛк децидуальной трансформации выявил, что при использовании в качестве индуктора 8-Br-cAMP во всех ЭКЛ наблюдалось увеличение уровня IGFBP-1. При этом под действием комбинации гормональных индукторов (E+P и E+MPA), децидуализация произошла только в ЭКЛ, полученных от одного пациента с эндометриозом и трех доноров без эндометриоза. В двух ЭКЛ, полученных от пациентов с эндометриозом, повышение IGFBP-1 не было отмечено, что свидетельствует о нарушении процесса децидуализации. Также, в тех ЭКЛ, где произошла децидуализация, изменилась морфология клеток – от фибробластоподобной к полигональной и методом иммунофлуоресцентного анализа было отмечено перераспределение PR из цитоплазмы в клеточное ядро, что не наблюдалось в ЭКЛ, где децидуализация не произошла.

При определении корреляционных зависимостей у всех ЭКЛ была выявлена положительная связь между эффективностью децидуальной трансформации, индуцированной гормонами, и содержанием в них рецепторов эстрогена и прогестерона.

Выводы

1. Из биоптатов эндометрия трех пациентов с эндометриозом и трех доноров без эндометриоза получены эндометриальные клеточные линии. Они проявляют адгезивные свойства к культуральному пластику и характеризуются фибробластоподобной морфологией клеток.

2. Все ЭКЛ по экспрессии поверхностных маркеров представляют собой популяции мезенхимных стволовых клеток.

3. Во всех ЭКЛ был выявлен нормальный кариотип, о чем свидетельствовало отсутствие числовых и структурных изменений хромосом.

4. Во всех ЭКЛ верифицирована экспрессия ER и PR. Содержание мРНК обоих типов рецепторов в ЭКЛ, полученных от доноров без эндометриоза, по сравнению с ЭКЛ, полученными от пациентов с эндометриозом, не имело значимых различий.

5. Обнаруженные замены нуклеотидов в 4-м, 5-м и 8-м экзонах, кодирующих ЛСД-PR, в двух из шести ЭКЛ, полученных от донора без эндометриоза и пациента с эндометриозом, по-видимому, не связаны с наличием данного заболевания.

6. Индукция децидуальной трансформации с помощью комбинации E+P и E+MPA вызвала повышение содержания IGFBP-1 только в ЭКЛ, полученных от одного пациента с эндометриозом и трех доноров без эндометриоза.

7. В ЭКЛ, полученных от доноров без эндометриоза и пациентов с эндометриозом, выявлена зависимость между эффективностью, индуцированной гормонами, децидуальной трансформации, и содержанием в них ER и PR.

Список литературы

1. Петросян М. А. и др. Децидуальная дифференцировка эндометриальных клеточных линий в норме и при патологии // Цитология. 2019. № 61. С. 902–914.

2. Ochoa-Bernal M. A., Fazleabas A. T. Physiologic events of embryo implantation and decidualization in human and non-human primates // International journal of molecular sciences. 2020. Vol. 21, No. 6. P. 1973.

3. Pabalan N., Salvador A., Jarjanazi H. Association of the progesterone receptor gene polymorphism (PROGINS) with endometriosis: a meta-analysis // Archives of Gynecology and Obstetrics. 2014. Vol. 290. P. 1015–1022.

УДК 574. 2

Особенности синурбизации врановых птиц урбоэкосистемы Череповца Вологодской области

Т. Б. Короткова

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
tbkorotkova@chsu.ru

Аннотация. В последние десятилетия многие врановые находят оптимальные условия обитания в урбоэкосистемах, где их привлекают наличие доступных кормов и мест гнездования и отдыха. Особенно важными становятся городские системы для переживания в

неблагоприятный осенне-зимний период. Поскольку территории городов постоянно подвергаются преобразованиям и изменениям, врановым необходимо быстро адаптироваться к этим новшествам. Экологическая пластичность, высокий уровень развития мозга позволяют им осваивать новые особенности городских экосистем в кратчайшие сроки. В работе оценивается влияние городской среды на приспособительные процессы врановых в Череповце.

Ключевые слова: урбозкосистема, врановые, приспособительные процессы, серая ворона, галка, грач, сорока

Annotation. In recent decades, many corvids have found optimal living conditions in urban ecosystems, where they are attracted by the availability of accessible food and nesting and resting places. Urban systems become especially important for surviving the unfavorable autumn-winter period. Since urban areas are constantly undergoing transformation and change, corvids need to quickly adapt to these innovations. Ecological plasticity and a high level of brain development allow them to master new features of urban ecosystems in the shortest possible time. The work evaluates the influence of the urban environment on the adaptive processes of corvids in Cherepovets.

Keywords: urban ecosystem, corvids, adaptive processes, gray crow, jackdaw, rook, magpie.

Большинство территорий, на которых в настоящее время проживает более половины всех жителей Земного шара, представляют собой урбозкосистемы. Поскольку в настоящее время продолжается рост числа городских жителей, эти территории нуждаются в особом внимании и изучении. Комфортное существование человека в городе возможно только в случае нормального функционирования урбозкосистемы и ее отдельных компонентов, одним из которых являются животные. В процессе урбанизации быстро изменяется среда обитания, биоразнообразие, численность популяций, биология и экология животных, а соответственно меняются и роли животных в урбозкосистеме. Одной из групп животных, хорошо приспособляющихся к новым параметрам среды, в том числе и жизни рядом с человеком, являются птицы семейства Врановых – Corvidae [3]. В ходе преобразования среды под действием антропогенных факторов изменяются место и роль врановых в экосистеме. Изменения последних связаны с адаптациями птиц к жизни в урбосреде [1]. Изучение таких приспособлений и темпов их формирования важно для прогнозирования последствий экологических изменений в урбозкосистемах и эффективного

управления городскими популяциями птиц с целью обеспечения безопасности людей.

Целью работы было оценить влияние городской среды на приспособительные процессы врановых на примере г. Череповца.

С конца 1990-х годов по 2018 г. происходит увеличение плотности гнездования серой вороны. Средний многолетний показатель плотности населения серой вороны в Череповце составил $2,7 \pm 0,35$ гнездящихся пар / 1 км^2 , что значительно ниже, по сравнению с другими городами Европы. С 2014 года при стабильных параметрах среды обитания стали наблюдаться локальные высокие плотности населения серой вороны: от 17 до 44 гнездовых пар на квадратный километр. Это характерно для городских территорий с большим количеством деревьев: парков, скверов, аллей. С конца 1990-х гг. по настоящее время у серой вороны наблюдается тенденция к увеличению количества гнезд, построенных во дворах жилых многоэтажных домов (до 70 % гнезд) и уменьшению гнезд на территориях детских садов и школ (46 %), скверов и парков (30 %). Стали заселяться участки вдоль автомагистралей и трамвайных путей (от 2 до 14 % в разные годы). Серая ворона в урбозкосистеме Череповца в основном устраивает свои гнезда на естественном субстрате. Ворона гнездится на деревьях и кустарниках 14 пород, в основном тополе (53 % гнезд) и березе (30 %). Увеличение количества пород деревьев, используемых для гнездования произошло при значительном увеличении населения серой вороны в 2004–2005 гг. Серая ворона гнездится на деревьях высотой от 2 до 35 м, средняя высота расположения гнезда составила $13,9 \pm 0,25$ м. Наблюдается незначительное увеличение высоты постройки гнезд с 2000-ых по 2018 годы. В 2010-е годы появились гнезда на высоте 2–6 м.

У серой вороны можно выделить следующий последовательный ряд занятия местообитаний в урбозкосистеме Череповца: окраины города – парки, скверы, аллеи в городе – дворовые территории с большим количеством деревьев – дворовые территории с малым количеством деревьев.

У галки в селитебных районах г. Череповца плотность популяции с конца 1990-х годов сократилась с 42 до 27 гнездящихся пар / 1 км^2 . Средний многолетний показатель плотности населения галки составил $34,8 \pm 1,4$ гнездящихся пар / 1 км^2 . Причиной уменьшения гнездящихся птиц стало сокращение мест гнездований. В настоящее время галка гнездится в основном под крышами зданий 1950–2010 годов постройки. Новые конструкции с использованием панелей не имеют ниш, пригодных для ее гнездования. Местами галка гнездится в дуплах деревьев, в основном в липах, реже в тополях.

Последовательный ряд занятия местообитаний у галки можно представить как: окраины города с большим количеством дуплистых деревьев – дуплистые деревья в парках, скверах, аллеях в черте города – дуплистые деревья в дворовых территориях – жилые постройки.

У грача в урбозкосистеме Череповца с конца 1990-х по 2018 г. численность жилых гнезд изменялась от 131 до 253. Основная причина уменьшения количества размножающихся особей – обрезка крон деревьев и уничтожение деревьев с целью постройки городских объектов. Плотность гнездования грача в период с 1997 по 2018 гг. изменялась от 4,1 до 7,9 гнездящихся пар / 1 км². Средний многолетний показатель плотности населения в Череповце составил $5,8 \pm 0,31$ гнездящихся пар / 1 км². Статистически значимое увеличение плотности наблюдается с 2013 г. Грач более консервативен в выборе мест гнездования. С конца 1990-х гг. гнездовые места в 90 % случаев находятся на территориях парков, скверов и аллей. И только 10 % гнездовых участков расположены на дворовых территориях и территориях детских садов и школ. В урбозкосистеме Череповца грач устраивает гнезда на 7 древесных породах. Расширение спектра древесных растений, как и у вороны, связано с увеличением численности населения грача в гнездовой период в 2011 и 2016 гг. Высота расположения гнезд грача изменяется от 7 до 30 м, средняя высота составила $15,07 \pm 0,11$. Происходит незначительное уменьшение высоты гнезд.

Последовательный ряд занятия местообитаний грача в урбозкосистеме Череповца можно представить как: окраины города с достаточным количеством деревьев с рядом расположенными полями – парки и скверы в городской черте – дворовые территории с большим количеством деревьев – дворовые территории с небольшим количеством деревьев.

Для сороки в урбосистеме Череповца средняя плотность населения составила $0,24 \pm 0,07$ гнездящихся пар / км². Сорока начала заселять город с 2013 г. Сорока при заселении урбозкосистемы Череповца заселяет кустарниковые заросли недалеко от водоемов по окраинам города. Она устраивает гнезда на 6 древесных и кустарниковых породах: иве (62%), ольхе (14 %), осине (10 %), черемухе (9 %), сосне (4 %) и березе (1 %). Высота расположения гнезд варьирует от 2 м до 10 м, средняя высота составила $6,42 \pm 0,52$ м. Происходит увеличение высоты гнезда с $4,80 \pm 0,85$ м в 2015 г. до $9,12 \pm 1,33$ м в 2018 г.

Последовательный ряд занятия местообитаний сороки в урбозкосистеме Череповца следующий: кустарниковые заросли по берегам рек вдали от человеческого жилья – кустарниковые заросли вблизи человеческого жилья – кустарниковые заросли в селитебной зоне в малопосещаемых местах

– кустарниковые заросли в селитебной зоне в многолюдных местах – дворовые территории.

В селитебной зоне Череповца серая ворона и грач приступают к размножению на 1–1,5 недели раньше, чем в окрестностях. Для сороки и галки такой разницы не выявлено.

В весенне-летний период в районе врановых преобладает пища естественного происхождения, а в осенне-зимний – антропогенного. С 2000 г. по 2020 г. у всех рассматриваемых видов увеличилась доля времени, затраченного на питание антропогенными кормами. Среди синантропных врановых г. Череповца увеличение доли антропогенных кормов в питании наблюдается в ряду сорока – грач – галка – серая ворона.

Происходит увеличение толерантности птиц, в т. ч. и по отношению к человеку. Сравнение толерантности трех видов врановых по отношению к человеку в урбоэкосистеме Череповца показало, что количество взлетов при обнаружении опасности уменьшается в ряду грач – галка – серая ворона. Средняя за год дистанция тревоги уменьшалась в ряду грач – серая ворона – галка и средняя за год дистанция взлета уменьшалась в ряду грач – серая ворона – галка.

Изменение темпов адаптаций врановых в урбоэкосистеме можно определить по изменению степени их синурбизации. Среднее значение индекса синантропизации [2] у врановых урбоэкосистемы Череповца уменьшается в ряду галка – серая ворона – грач – сорока. Увеличение индекса синантропизации связано с увеличением коэффициента урбанизации города с 0,2 по 0,8 в период с 1920 по 2020 гг. Особенно это хорошо выражено у серой вороны и сороки в последние два десятилетия. Темпы синурбизации увеличиваются в ряду грач – галка – серая ворона – сорока и свидетельствует о появлении новых приспособительных процессов у врановых. Происходит замена наиболее синантропных видов галки и грача на серую ворону и сороку.

Таким образом, основными адаптациями врановых к жизни в урбоэкосистеме Череповца являются уменьшение внутривидового напряжения, смена местообитаний, изменения в питании, повышение толерантности к человеку. Наиболее успешно процесс синурбизации происходит у серой вороны. Темпы синурбизации увеличиваются в ряду грач – галка – серая ворона – сорока и связаны с темпами урбанизации города.

Список литературы

1. Бакка С. В., Киселева Н. Ю. Орнитофауна центра Европейской России: динамика, антропогенная трансформация, пути сохранения. Москва: ФЛИНТА; Нижний Новгород: Мининский университет, 2017. 260 с.

2. Резанов А. А., Резанов А. Г. Индекс оценки степени синантропизации у птиц на основе их антропоустойчивости: экологоповеденческое обоснование // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2014. № 1(13) 2014. С. 16–22.

3. Фридман В. С., Ерёмкин Г. С. Урбанизация «диких» видов птиц в контексте эволюции урбандолища. Москва: ЛИБРОКОМ, 2009. 240 с.

УДК 574. 2

Исследование накопления общей ртути грибами различных семейств

А. А. Костичев

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
kostic4ev@gmail.com

Аннотация. Дикорастущие грибы во многих странах накапливают высокие уровни токсичных тяжелых металлов, например ртути, как в не загрязненных, так и в умеренно загрязненных районах. В этом исследовании мы оценили общую ртуть в грибах популярного у грибников из г. Череповца места. Общую ртуть оценивали на ртутном анализаторе РА-915+. Напочвенный вид грибов накапливал ртуть в количестве 0,02 мг/кг, это выше по отношению к нижележащим почвам. У древесных грибов установлено накопление ртути с возрастом: самые молодые слои содержали ртути меньше, чем старые (0,02–0,11). Был сделан вывод, что необходимо провести специальное исследование на больших выборках грибов.

Ключевые слова: ртуть, окружающая среда, грибы, Череповецкий промышленный узел

Abstract. Wild mushrooms in many countries accumulate high levels of toxic heavy metals, such as mercury, both in non-polluted and moderately polluted areas. In this study, we evaluated the total mercury in mushrooms of a place popular with mushroom pickers from Cherepovets. General mercury was evaluated on a mercury analyzer RA-915+. The ground type of fungi accumulated mercury in an amount of 0. 02 mg/kg, which is higher in relation to underlying soils. The accumulation of mercury with age was found in wood fungi: the youngest layers contained less mercury than the old ones (0,02–0,11). It was concluded that it is necessary to conduct a special study on large samples of fungi.

Keywords: mercury, environment, mushrooms, Cherepovets industrial hub

Введение. Грибы являются важной частью природы. Они встречаются практически во всех средах обитания по всему миру, и играют важную роль в функционировании всех типов экосистем. Накопление ртути грибами может быть важным фактором в лесных экосистемах, поскольку высокие уровни ртути в грибах влияют негативно на здоровье человека [4]. Катионы Hg реагируют с SH-группами белков («тиоловые яды»), а также с карбоксильными и аминными группами тканевых белков, образуя прочные комплексные соединения – металлопротеиды. В результате возникают глубокие нарушения функций центральной нервной системы, особенно высших ее отделов. Для неорганических соединений ртути характерны поражения почек и печени.

Наибольшее значение играет метилртуть, которая хорошо растворима в липидных тканях и быстро проникает в жизненно важные органы, и в том числе в мозг. В результате возникают изменения в вегетативной нервной системе, периферических нервных образованиях, в сердце, сосудах, кроветворных органах, печени и др., и нарушения в иммунобиологическом состоянии организма. Соединения ртути обладают также эмбриотоксическим действием [2]. В связи с этим представилось важным установить содержание общей ртути в грибах, найденных на территории с. Городища и его окрестностях (в зоне влияния промышленных предприятий) – излюбленного места отдыха многих жителей г. Череповца. В задачи входило выявить различия в содержании ртути в многолетних и однолетних грибах и сравнить содержание ртути в древесных и напочвенных грибах.

Объект и метод исследования. Материал был собран в 2023 г. на территории с. Городища Череповецкого района, и представлен плодовыми телами и мицелием. Образцы были высушены при комнатной температуре в течение 2 недель. Из семи образцов были определены представители семи семейств. Из них напочвенные: Гомфовые и древесные: Гнездовковые, Фомитопсисовые, Полипоровые, Вёшенковые, Строфариевые, Бондаржевиевые; многолетние: Полипоровые и Фомитопсисовые; однолетние: Вёшенковые, Строфариевые, Гомфовые, Бондаржевиевые, Гнездовковые. Тело многолетних грибов исследовалось по слоям толщиной 5 мм каждый. Общий объем выборки проанализированных образцов (n=19). Общую ртуть оценивали на ртутном анализаторе РА-915+.

Полученные результаты. Содержание общей ртути в напочвенном грибе из семейства Гомфовых составляло 0,02 мг/кг. Содержание общей ртути в древесных грибах из семейств Фомитопсисовых и Вёшенковых варьировалось от 0,01 до 0,95 мг/кг это выше, чем в почвенном горизонте

района исследования 0,06 мг/кг [1], в однолетних изменялось также в широком диапазоне – от 0,01 до 0,95 мг/кг, в многолетних содержание общей ртути было почти в одном диапазоне: 0,07 до 0,09 мг/кг.

При исследовании годовых приростов трутовика обыкновенного были получены данные, представленные возрастающим рядом: мицелий с субстратом 0,02 мг/кг – одиннадцатый слой 0,03 – десятый слой 0,03 – девятый слой 0,04 – восьмой слой 0,04 – седьмой слой 0,07 – шестой слой 0,07 – пятый слой 0,09 – четвертый слой 0,10 – третий слой 0,11 – первый слой (гименофор) 0,18 мг/кг.

Среднее значение общей ртути у древесных грибов составляло 0,33 мг/кг и 0,02 мг/кг у напочвенного гриба, у однолетних 0,21 и многолетних 0,08 мг/кг. Можно было ожидать более высокие значения у многолетних грибов, но реально получены другие данные, что, скорее всего, связано с незначительностью выборки. С другой стороны, известно для представителей царства животные более высокие уровни ртути у молодых особей по сравнению со средневозрастными особями [3].

Выводы. Таким образом, полученные впервые данные по содержанию общей ртути в грибах в зоне отдыха и сбора грибов жителями г. Череповец показало необходимость проведения более масштабного исследования по затронутой проблеме.

Список литературы

1. Иванова Е. С., Комов В. Т., Поддубная Н. Я., Гремячих В. А. Насекомоядные, грызуны, куны и псовые околородных территорий и их участие в транспорте ртути в экосистемах Вологодской области. Череповец: ЧГУ, 2014. 184 с.
2. Ртуть: распространение, опасность и меры предосторожности // МГУЛАБ URL: <https://www.msulab.ru/knowledge/water/mercury-spread-danger-and-precautions/> (дата обращения: 24. 06. 2023)
3. Kalisińska E. (ed.), Mammals and Birds as Bioindicators of Trace Element Contaminations in Terrestrial Environments. Springer Nature Switzerland. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00121-6_17
4. Melgar M. J., Alonso J. Mercury in edible mushrooms and underlying soil: Bioconcentration factors and toxicological risk // Science of the Total Environment. 2009. № 20. С. 5328–5334.

Оценка условий обитания рукокрылых (Chiroptera) в Дарвинском заповеднике на основе индекса упитанности

Д. Р. Кудрявцева¹, О. А. Шапкин²

¹Череповецкий государственный университет

²Дарвинский государственный природный биосферный заповедник,

Череповец, Россия

oshpkn@gmail.com

Аннотация. Проведен анализ динамики упитанности рукокрылых Дарвинского государственного природного биосферного заповедника. Показана динамика упитанности половозрастных групп рукокрылых Дарвинского заповедника. Индекс упитанности тела (BCI – body condition index) демонстрирует благоприятные условия обитания рукокрылых в Дарвинском заповеднике, быстрые темпы жиронакопления у молодняка. Средние реальные значения упитанности животных большую часть лета выше теоретически рассчитанных.

Ключевые слова: рукокрылые, индекс упитанности, биоиндикация, динамика упитанности

Abstract. The dynamics of fatness of bats of the Darwin State Natural Biosphere Reserve was analysed. The dynamics of fatness of sex and age groups of bats in Darwin Reserve is shown. The body fatness index demonstrates favourable habitat conditions for bats in the Darwin Reserve, rapid rates of fat accumulation in offspring. Average real values of animal fatness are higher than theoretically calculated for most of the summer.

Keywords: bats, body condition index, bioindication, fatness dynamics

Рукокрылые – уникальная по своим экологическим особенностям группа, составляющая значительную часть разнообразия этого класса млекопитающих, а также играющая значительную роль в устойчивом функционировании экосистем. Летучие мыши чувствительны к изменению среды обитания. Например, они чувствительны к качеству воды, шумовому и световому загрязнению, интенсификации сельского хозяйства, урбанизации, фрагментации и вырубке лесов, состоянию древесной растительности. Все это делает их хорошими видами-индикаторами.

В последнее время все активнее продвигаются новые методы оценки упитанности тела рукокрылых и определения степени запаса жира

запасов. Для оценки физического состояния особей предложен индекс упитанности тела – body condition index (BCI), подходящий не только для оценки упитанности животного, но и как биоиндикационный показатель благоприятности среды обитания [1]. Есть примеры использования указанного индекса в экологических исследованиях [2, 3, 4]. Для целей "биоиндикации" упитанность животных будет отражать результат воздействия на них местных экологических условий, прежде всего кормовых.

Рукокрылые отлавливались с помощью паутинных сетей в разных частях Дарвинского заповедника с мая по сентябрь в 2018–2023 гг. Отловы производились на мостах, по берегам рек, на лесных дорогах, на полях, а также на вылете из убежищ в деревенских домах и на кордонах. Всего отловлено 756 особей 7 видов, используемых в анализе. При помощи электронных весов ($\pm 0,1$ г) у рукокрылых измерялся вес тела (m , г) спустя 8–12 часов после поимки для почти гарантированного опорожнения пищеварительного тракта, так как летучие мыши, поедая большое количество насекомых, способны за ночь увеличивать вес тела на 30 %. В качестве основного показателя линейных размеров тела использовали длину предплечья (R , мм), измеряемую с помощью штангенциркуля ($\pm 0,1$ мм).

Рукокрылых разделяли на возрастные группы: ad (adult) – взрослая особь в широком смысле, т. е. все зверьки после зимовки в возрасте более 9–10 месяцев; s/ad (subadult) – самостоятельный летающий детеныш, juv (juvenile) – нелетающий детеныш. Репродуктивный статус рукокрылых устанавливали по состоянию сосков и наличию лактации. Возраст определялся по степени окостенения и наличию хрящевых прослоек в сочленениях метакарпальных костей и фаланг пальцев передней конечности.

Для оценки физического состояния особей использован индекс упитанности тела (BCI), рассчитываемый на основе линейной зависимости массы тела зверьков от показателя объема – кубадлины предплечья [1]. Индекс упитанности рассчитывается как отношение наблюдаемой массы тела m к ожидаемой m_0 . В свою очередь ожидаемая масса тела рассчитывается как произведение коэффициента регрессии (b) и куба длины предплечья (R^3). Коэффициент регрессии b с размерностью $г/см^3$ (отражающий пропорциональность массы тела и показателя объема) зависит от вида рукокрылых. Использовали литературные значения коэффициента, а для видов с отсутствием данных его рассчитывали по выборке взрослых самцов в июне-июле, когда вес животных наиболее стабилен [1]. Таким образом, для *Eptesicus nilssonii*, *Myotis brandtii*,

Myotis dasycneme, *Myotis daubentonii*, *Vespertilio murinus* использовались коэффициенты регрессии 0,15, 0,12, 0,14, 0,14, 0,14 соответственно [1]. Для *Nyctalus noctula*, *Pipistrellus nathusii* коэффициенты были рассчитаны и равняются соответственно 0,17 ($R^2 = 0,31$) и 0,17 ($R^2 = 0,26$).

Нами, по стандартной методике, был рассчитан индекс упитанности для каждого вида заповедника, а результаты распределения ВСИ объединены по декадам месяцев и показаны в динамике в течение теплого сезона. ВСИ наглядно отражает фенологические явления в жизни рукокрылых заповедника. Так, в июне беременные самки еще носят детенышей и начинают рожать. Рукокрылые начинают самостоятельно летать в начале июля и всего лишь за месяц набирают вес, который согласно ВСИ близок к нормальному для конкретного вида. В конце августа рукокрылые активно накапливают жир и готовятся к миграции. При этом средний ВСИ для взрослых животных значительно выше базового уровня, а большинство молодых особей также уже накопили достаточно жировых запасов.

Согласно нашим данным относительной численности рукокрылых на территории западной части Вологодской области Дарвинский заповедник является одной из ключевых территорий в сохранении и рукокрылых региона – здесь самая большая концентрация рукокрылых в регионе. К тому же, судя по индексу упитанности тела на территории заповедника хорошие условия с достаточным количеством кормовых ресурсов для жизни и выведения потомства. Молодые животные быстро накапливают жировые запасы и готовятся к миграции, которая у видов дальних мигрантов (*Pipistrellus nathusii*, *Vespertilio murinus* и *Nyctalus noctula*) начинается во второй половине августа. Остальные виды отлетают с территории постепенно, по мере обеднения ее кормовыми ресурсами. Также это демонстрирует и процент особей в популяции, имеющих ВСИ меньше единицы. Так среди взрослых животных он не превышает 19 % (*Eptesicus nilssonii* – 8 %, *Myotis dasycneme* – 18 %, *Myotis daubentonii* – 6 %, *Nyctalus noctula* – 19 %, *Pipistrellus nathusii* – 10 %, *Vespertilio murinus* – 15 %). Среди сеголетков процент закономерно выше, но не превышает 48 % (*Eptesicus nilssonii* – 45 %, *Myotis brandtii* – 43 %, *Myotis dasycneme* – 42 %, *Myotis daubentonii* – 23 %, *Nyctalus noctula* – 46 %, *Pipistrellus nathusii* – 34 %, *Vespertilio murinus* – 48 %), так как большинство особей быстро набирают нормальный вес.

Таким образом, можно заключить, что средние значения индекса упитанности рукокрылых Дарвинского заповедника расположены выше базового уровня, а молодые особи также успевают за короткие сроки запасти достаточное количество жировых запасов, необходимых для

предстоящей миграции. Это свидетельствует о благоприятных условиях обитания и выведения потомства рукокрылых в заповеднике.

Список литературы

1. Васеньков Д. А., М. А. Потапов Применение индекса упитанности в изучении экологии рукокрылых (Mammalia, Chiroptera) // Plecotus et al. 2007. № 10. С. 21-31. EDN WIQIPF.
2. Васеньков Д. А. Рукокрылые (Chiroptera, Mammalia) низкогорий юго-востока Западной Сибири: специальность 03.00.08: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 157 с. EDN NQPVBVD.
3. Орлова М. В. и др. Фауна эктопаразитов прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Boie, 1825), (Chiroptera, Vespertilionidae) Северной Евразии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2014. № 1. С. 24–38. EDN SBVBWB.
4. Ромашин А. В. Мониторинг динамики видового разнообразия рукокрылых Сочинского национального парка // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 29. С. 368–382. EDN SMPVHF.

УДК 598. 2; 574. 34

Орнитологические наблюдения в поселке Рошино (Ленинградская область)

Д. В. Кулаков

Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии
им. Е. М. Сергеева РАН, Санкт-Петербург, Россия
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия.
dvkulakov@mail.ru

Аннотация. Орнитологические исследования на территории поселка Рошино (Ленинградская область, Выборгский район) проводились в 2015–2023 годах. Всего было обнаружено 83 вида птиц, из них 47 видов гнездились в поселке. В результате исследований был определен видовой состав, численность, плотность населения, выявлены доминирующие виды и основные экологические группы птиц. Основу орнитофауны составляли лесные и синантропные виды, среди которых преобладали перелетные и оседлые, гнездящиеся в кронах деревьев и кустарников, в антропогенных сооружениях, дуплах и трещинах в стволах деревьев. В зависимости от

объектов питания по количеству видов преобладали насекомоядные, растительноядные и всеядные виды, отыскивающие пищу на земле, в кронах деревьев и кустарников. Комплекс доминирующих видов составляли большая синица (*Parus major*), серая ворона (*Corvus cornix*), полевой воробей (*Passer montanus*), сизый голубь (*Columba livia*), зяблик (*Fringilla coelebs*), сорока (*Pica pica*). В межгодовом ряду исследований наблюдался рост численности кряквы (*Anas platyrhynchos*), озерной чайки (*Larus ridibundus*), домового воробья (*Passer domesticus*). Численность других видов птиц была низкой, либо претерпевала существенные сезонные колебания. Кроме того, на территории поселка были обнаружены 4 редких вида птиц, включенных в Красную книгу Ленинградской области.

Ключевые слова: птицы, орнитофауна, видовой состав, численность, Ленинградская область

Annotation. Ornithological research on the territory of the Roshchino (Leningrad Region, Vyborgsky District) was carried out in 2015–2023. In total, 83 species of birds were found, of which 47 species nested in the town. As a result of the research, the species composition, abundance, population density were determined, the dominant species and the main ecological groups of birds were identified. The basis of the avifauna was forest and synanthropic species. Migratory and sedentary birds predominated among them, nesting in the crowns of trees and shrubs, in anthropogenic structures, hollows and cracks in tree trunks. Depending on the food objects, insectivorous, herbivorous and omnivorous species prevailed in terms of the number of species, searching for food on the ground, in the crowns of trees and shrubs. The complex of dominant species was the great tit (*Parus major*), gray crow (*Corvus cornix*), tree sparrow (*Passer montanus*), rock dove (*Columba livia*), chaffinch (*Fringilla coelebs*) and magpie (*Pica pica*). An increase in the abundance of mallard (*Anas platyrhynchos*), black-headed gull (*Larus ridibundus*) and house sparrow (*Passer domesticus*) was observed in the interannual series of studies. The number of other bird species was low or experienced significant seasonal fluctuations. On the territory of the town, 4 rare species of birds were found, included in the Red Book of the Leningrad Region.

Keywords: birds, avifauna, species composition, abundance, Leningrad Region

Рошино – поселок городского типа в Выборгском районе Ленинградской области. Расположен на юго-западе центральной части Карельского перешейка в пределах прибалтийской провинции южной подзоны тайги, где коренной растительностью являются еловые леса с примесью сосны,

березы и осины [4]. В настоящее время численность населения Рошино составляет более 16 тыс. человек и стремительно увеличивается с каждым годом. Жилая часть поселка представлена малоэтажными домами и садоводствами, со всех сторон к территории Рошино примыкают лесные массивы. В последние десятилетия в Рошино ведется активное жилищное строительство, освоение и преобразование все новых территорий, ранее занятых лесом, что не может не сказываться на жизни птиц, динамике их численности и видовом составе.

Орнитологические наблюдения на территории поселка выполнялись в период с 2015 по 2023 год. Учеты численности птиц проводились на маршрутах с шириной полосы обнаружения 60 м [1, 3]. Маршруты были проложены в районах поселка с жилой застройкой и в парковой зоне рядом с Рошинским озером.

В результате исследований выявлено 83 вида птиц из 13 отрядов, что составляет 25,2 % от видового состава Ленинградской области. Всего в области встречается 330 видов птиц [2], из них 47 видов гнездятся в Рошино. Наибольшее количество видов встречалось в весенний период (68 видов), наименьшее – зимой (22 вида); летом встречалось 52 вида, осенью – 36 видов птиц. В межгодовом ряду наблюдений количество видов варьировало от 38 в 2015 году до 60 в 2019 году.

В сезонной динамике количества видов максимумы наблюдались во второй половине мая (до 13–16 видов за учет). В эти же периоды наблюдались максимальные значения индекса видового богатства (в среднем $1,3 \pm 0,03$) и минимальные значения индекса доминирования (в среднем $0,4 \pm 0,01$). В конце декабря – начале января обнаруживалось наименьшее количество видов (до одного вида за учет), значения индекса видового богатства были минимальны (в среднем $0,6 \pm 0,02$), а величины индекса доминирования увеличивались до максимума (в среднем $0,6 \pm 0,02$).

В межгодовом ряду наблюдений наибольшее количество видов, встреченных за один учет, регистрировалось в 2018 году, когда была аномально жаркая весна и лето. В этом же году индекс видового богатства достигал наибольших значений, а величины индекса доминирования были минимальны. В 2016 году была снежная холодная весна и заморозки в начале июня, что могло отразиться на орнитофауне – в этот год наблюдалось наименьшее количество видов, величины индекса видового богатства также были минимальны. Значения индекса доминирования достигали наибольших значений в зимний период 2015–2016 годов.

Комплекс доминирующих видов составляли большая синица (*Parus major*), серая ворона (*Corvus cornix*), полевой воробей (*Passer montanus*), сизый голубь (*Columba livia*), зяблик (*Fringilla coelebs*), сорока (*Pica pica*).

Большая синица была абсолютным доминантом по численности, встречалась круглогодично, гнездилась во всех районах поселка, плотность населения составляла от 99 до 148 особей/км². Плотность населения серой вороны составляла от 35 до 66 особей/км². В зимний период наблюдалось значительное увеличение численности ворон за счет особей, перемещающихся в поселок из прилегающих лесных массивов. В стаях зимующих ворон насчитывалось до 50–100 особей. Плотность гнездования в среднем составляла 15 пар/км². Полевой воробей встречался круглогодично, его плотность населения составляла от 36 до 64 особей/км². В холодный период года в стаях насчитывалось обычно 20–30 особей, реже численность стай достигала 45–60 особей. Сизый голубь встречался ежегодно во все сезоны года. В межгодовом ряду наблюдений плотность населения изменялась в пределах от 38 до 63 особей/км². Зяблик встречается с конца марта до начала октября. Средняя плотность населения изменялась от 22 до 35 особей/км². Плотность населения сороки в среднем составляла от 21 до 26 особей/км². В зимний период эти птицы образовывали стаи численностью до 8–15 особей.

В межгодовом ряду исследований наблюдался рост численности кряквы (*Anas platyrhynchos*), озерной чайки (*Larus ridibundus*), домового воробья (*Passer domesticus*). Кряква встречалась ежегодно во все сезоны года, эти птицы концентрировались на Рощинском озере. Наиболее крупные стаи наблюдались в осенний период до ледостава, количество птиц в стаях достигало до 62 особей. Озерные чайки образовывали колонии на крышах промышленных построек и жилых пятиэтажных домов. Численность гнездящихся в жилой зоне поселка озерных чаек достигала до 30 особей. Кроме того, гнездовая колония этих птиц численностью примерно 50 особей была обнаружена на озере Макаровском.

На стабильном низком уровне оставалась численность тетеревины (*Accipiter gentilis*), перепелятника (*Accipiter nisus*), большого пестрого дятла (*Dendrocopos major*), деревенской ласточки (*Hirundo rustica*), белой трясогузки (*Motacilla alba*), сойки (*Garrulus glandarius*), зарянки (*Erithacus rubecula*), черного дрозда (*Turdus merula*), обыкновенной лазоревки (*Cyanistes caeruleus*), зеленушки (*Chloris chloris*). Численность обыкновенного скворца (*Sturnus vulgaris*), рябинника (*Turdus pilaris*), обыкновенного снегиря (*Pyrrhula pyrrhula*), чижа (*Spinus spinus*), обыкновенной чечетки (*Acanthis flammea*) претерпевала существенные колебания, достигая максимума в период сезонных миграций. Кроме того, на территории поселка встречались четыре редких вида, включенных в Красную книгу Ленинградской области: клуша (*Larus fuscus*), обыкновенный зимородок (*Alcedo*

atthis), белоспинный дятел (*Dendrocopos leucotos*) и кедровка (*Nucifraga caryocatactes*).

Характер пребывания птиц в поселке связан со сменой времен года и сезонностью климатических условий. Основу орнитофауны составляли в основном виды таежной зоны. Доля перелетных видов достигала максимальных значений в период с весны по осень (от 44,1 до 58,7 %). В зимний период по количеству видов преобладали оседлые (40,9 %). Доля кочующих видов в зимний период составляла 18,2 %, сокращаясь летом до 5,8 %. Соотношение видов в зависимости от мест обитания изменялось незначительно в течение года: во все сезоны преобладали лесные (48,1–59,1 %) и синантропные виды (17,3–22,7 %). Доля луговых видов, встречающихся только в весенний и летний периоды, была минимальной (3,8–4,8 %). Околоводные виды составляли наибольшую долю в орнитофауне в летний период (21,2 %). В сезонной динамике соотношения трофических групп птиц по количеству видов преобладали насекомоядные (31,8–53,8 %). Доля растительноядных видов в течение года варьировала от 21,2 до 29,4 %, всеядных – от 17,3 до 31,8 %. Наименьшим количеством видов были представлены хищные (3,2–9,1 %) и рыбоядные (1,9–4,8 %). Соотношение видов в зависимости от яруса добывания пищи в течение года сохранялось примерно на одном уровне: основа орнитофауны была представлена видами, питающимися на земле (40,8–45,0 %), а также видами, отыскивающими пищу в кронах деревьев и кустарников (35,0–37,3 %). В зависимости от места гнездования преобладали птицы, гнездящиеся в кронах деревьев и кустарников (37,5–47,1 %). Доля видов, гнездящихся в различных антропогенных сооружениях, составляла от 21,7 до 25,0 %, доля дуплогнездников варьировала от 15,9 до 29,2 %. Количество видов, гнездящихся на земле, было наименьшим (5,9–19,6 %).

В целом, в Роцино складываются благоприятные условия, как для синантропных видов, так и видов, характерных для естественных природных ландшафтов.

Список литературы

1. Бибби К., Джонс М., Марсен С. Методы полевых экспедиционных исследований. Исследования и учеты птиц / перевод с английского. Москва: Союз охраны птиц России, 2000. 186 с.
2. Красная книга природы Ленинградской области Т. 3: Животные / ответственный редактор Г. А. Носков. Санкт-Петербург: Мир и Семья, 2002. 480 с.
3. Константинов В. М., Михеев А. В. Позвоночные животные и наблюдения за ними в природе. Москва: Академия, 2000. 200 с.

4. Редько Г. И., Мялкенен Э. Линдуловская лиственничная роща. Хельсинки: Издательство НИИЛФ, 2003. 90 с.

УДК 59

Предварительные данные по биоразнообразию клопов санитарно-защитной зоны ПАО «Северсталь»

А. И. Макаровский

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
aimakarovskii@chsu.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению биоразнообразия клопов на территории санитарно-защитной зоны ПАО «Северсталь», в городе Череповце. Исследование проведено на территории санитарно-защитной зоны в летний период 2023 года. В работе использованы методы кошения сачком. Согласно литературному анализу на территории города Череповца могут обитать клопы, принадлежащие 33 семействам. Нами обнаружены 7 видов клопов из двух семейств: Pentatomidae и Miridae.

Ключевые слова: биоразнообразие, полужесткокрылые, клопы, санитарно-защитная зона, Heteroptera.

Abstract. The article is devoted to the study of the biodiversity of bedbugs on the territory of the sanitary protection zone of PAO «Severstal», in the city of Cherepovets. The study was conducted on the territory of the sanitary protection zone in the summer of 2023. In the work, mowing net methods were used. According to a literary analysis, bugs can inhabit the territory of the city of Cherepovets, providing for 33 buildings. We found 7 species from two families: Pentatomidae and Miridae.

Keywords: biodiversity, Hemiptera, true bugs, sanitary protection zone, Heteroptera.

Введение. Значительный интерес в настоящее время вызывают исследования насекомых в трансформированных ценозах городов, особенно в крупных промышленных центрах [3]. Отряд Клопы (Heteroptera) включает представителей достаточно крупных размеров, хорошо идентифицируемых и проявляющих определенные реакции на уровень загрязнения среды [1]. Показатели структуры комплексов Heteroptera (численность, общее число видов, число редких и очень редких видов полужесткокрылых) снижаются при увеличении как уровня загрязнения атмосферного воздуха,

так и частоты кошения травостоя [1]. Целью работы является выявление биоразнообразия полужесткокрылых (клопов) в санитарно-защитной зоне ПАО «Северсталь» города Череповца.

Объект и метод исследования. Работа выполнена в северном и южном участках санитарно-защитной зоны (СЗЗ) ПАО «Северсталь», которые входят в административные границы города Череповца Вологодской области. В летний период 2023 г. на территориях СЗЗ был проведен сбор материала в зонах вдоль автодороги, где имеется загрязнение от выхлопных газов. Выхлопные газы могут оказывать токсическое воздействие на обитающих здесь клопов. Для выявления видового биоразнообразия использовали метод кошения сачком на трансекте. Для определения систематического положения насекомых использовали справочники и определители [2, 4].

Полученные результаты. На исследуемой территории произрастают 132 вида семенных растений в северной части района исследований и 189 видов семенных растений – в южной, всего 220 видов (это примерно 58,0 % от всех семенных Вологодской области), а также несколько видов мхов, лишайников и грибов на обоих участках и еще несколько видов папоротников. Семенные принадлежали 47 семействам, четыре семейства были представлены наибольшим разнообразием видов: сложноцветные (21 вид в северной и 29 – в южной), злаковые (11 и 24 видов), розовые (13 и 12 видов) и бобовые (10 и 11 видов). За ними следовали яснотковые (6 и 11 видов), крестоцветные (4 и 10 видов), норичниковые (4 и 8 видов), гречишные (5 и 8 видов), зонтичные (4 и 8 видов), ивовые (по 7 видов). Остальные семейства были представлены по 1 – 4 видами. Учитывая такое разнообразие растений можно ожидать довольно высокое разнообразие клопов.

Было идентифицировано 7 видов клопов: в северной части СЗЗ было найдено две особи клопа щитника линейчатого (*Graphosoma lineatum*), одна особь щитника зелёного древесного (*Palomena prasina*), одна особь черепашки вредной (*Eurygaster integriceps*), в южной части СЗЗ были найдены одна особь щитника зелёного древесного, две особи щитника черноусого (*Carpocoris purpureipennis*), одна особь клопа остроголового (*Aelia acuminata*) и одна особь *Notostira elongata*. Таким образом, наиболее представленной группой являются щитники (Pentatomidae) – шесть видов. Представители семейства Miridae (слепняки) представлены лишь одним видом – *Notostira elongata*. Такое соотношение может свидетельствовать об обеднении фауны клопов на исследуемой территории СЗЗ под влиянием антропогенной нагрузки. Повторяющееся обнаружение одного и того же вида – щитника зелёного древесного в северной и южной частях СЗЗ

может говорить о его высокой устойчивости к загрязнению среды. Обнаруженные виды клопов являются типичными обитателями открытых пространств. Это указывает на высокую степень нарушенности естественных лесных мест обитаний на данной территории.

Анализ энтомологических монографий [2, 4] показал, что территория г. Череповца входит в ареалы обитания 456 видов клопов, принадлежащих семействам: Corixidae – Гребляки, Nepidae – Водяные скорпионы, Naucoridae – Плавты, Aphelocheiridae – Афелохиры, Notonectidae – Гладыши, Pleidae – Плеи, Leptopodidae – Тонконогие прибрежники, Saldidae – Сальды или прибрежные прыгуны, Hebridae, Mesoveliidae – Мезовелии, Hydrometridae – Палочковидные водомерки, Veliidae – Велии, Gerridae – Водомерки, Cryptostemmatidae, Cimicidae – Постельные клопы, Anthocoridae, Microphysidae, Isometopidae, Miridae – Слепняки, Nabidae, Reduviidae – Хищницы, Macrocephalidae, Piesmidae – Пиезмы, Tingitidae – Кружевницы, Pyrrhocoridae – Красноклопы, Verytidae – Палочковидыколенчатоусые, Lygaeidae, Brachyrhynchidae, Aradidae – Подкорники, Coreidae – Краевики, Pentatomidae – Щитники, Coptosomatidae – Полушаровидные щитники, Cydnidae – Земляные щитники.

Выводы. Таким образом, биоразнообразие клопов санитарно-защитной зоны ПАО «Северсталь» оказалось невысоким. Что может быть связано с загрязнением окружающей среды и методом трансектных кошений сачком. В будущем необходимо провести тотальные обследования территории.

Работа выполнена с использованием оборудования Регионального центра коллективного пользования Череповецкого государственного университета.

Список литературы

1. Золотарев Д. А. Хортобионтные полужесткокрылые (Insecta: Hemiptera= Heteroptera) антропогенно трансформированных территорий (на примере г. Кеморова): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 2005. 20 с.
2. Кириченко А. Н. Настоящие полужесткокрылые европейской части СССР (Hemiptera): Определитель и библиография. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1951.
3. Козлов М. В. Ответные реакции популяций насекомых на антропогенные воздействия. Материалы по Проекту № 2 Советской национальной программы “Человек и биосфера” (МАБ). Красноярск, 1987.
4. Тарбинский С. П., Плавильщиков Н. Н. Определитель насекомых Европейской части СССР. Москва: Сельхозгиз, 1948.

Адаптация утиных к жизни в городе Череповце

М. Д. Молева

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
mdmoleva@chsu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются результаты исследований, выполненных в г. Череповце Вологодской области на участке реки Ягорбы в летний период 2023 г. В результате проведенных учетов были обнаружены два вида водоплавающих птиц: кряква обыкновенная (*Anas platyrhynchos*) и хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*). В ходе наблюдений было установлено, что большинство уток, встреченных на территории города, были кряквами (97%). Обыкновенная кряква может быть отнесена к числу факультативных синантропных видов. Хохлатая чернеть впервые обнаружена здесь в гнездовой период, что открывает возможности для новых исследований этого вида.

Ключевые слова: обыкновенная кряква, хохлатая чернеть, река Ягорба, Череповец, водоплавающие, утиные, синантропные птицы.

Abstract. The paper considers the results of studies carried out in Cherepovets, Vologda region, on the Yagorba River section in the summer of 2023. As a result of the surveys, two species of waterfowl were found: common mallard (*Anas platyrhynchos*) and crested black (*Aythya fuligula*). During the observations, it was found that the majority of ducks encountered in the city were mallards (97%). The common mallard can be classified as an optional synanthropic species. The crested blackbird was first discovered here during the breeding season, which opens up opportunities for new studies of this species.

Keywords: common mallard, crested black, Yagorba River, Cherepovets, waterfowl, the Anatidae, synanthropic birds

Актуальность. В настоящее время многие представители дикой фауны заселяют урбанизированные территории. Это, с одной стороны, положительный факт и дает надежды на выживание этих видов, а с другой стороны, могут быть проблемы для человеческих поселений в связи с трансмиссией диких штаммов микроорганизмов. Одним из активно осваивающих урбанизирующих видов является обыкновенная кряква. В г. Череповце именно крякве посвящено несколько очерков в зимний период. В летний период наблюдения проводились, но они еще не опубликованы, в связи с

этим целью работы было выяснить видовой состав, численность, распределение утиных в г. Череповце в летний период.

Материалы и методы. Работа выполнена в г. Череповце Вологодской области (Северо-Западный экономический регион). В Череповце имеется несколько водоемов, включая реку Шексну, которая протекает через город и впадает в Рыбинское водохранилище на севере, и реку Ягорбу, которая протекает через центр города и впадает в реку Шексну. Также в городе есть несколько небольших водоемов, таких как пруды и озера, которые используются для рыбалки и отдыха. Водная система Череповца является важной частью городской инфраструктуры и играет важную роль в жизни города. Реки города служат местами для отдыха горожан и одновременно для обитания многих видов рыб и птиц. Для уток реки являются местами гнездования и кормежки. Наиболее популярной рекой у горожан является Ягорба. Ширина реки Ягорбы здесь составляет около 20 метров. Набережная Ягорбы является одним из главных туристических объектов города, привлекающих множество туристов и путешественников. В летнее время набережная Ягорбы становится популярным местом для пикников и прогулок на свежем воздухе, а зимой она становится центром активного отдыха горожан и гостей города.

Наблюдение за птицами осуществляли визуально и с помощью бинокля [6], [7] с правого берега реки. Учеты птиц проводились на участке реки Ягорбы длиной около 2,5 км (от железнодорожного моста до Соборной горки) с 20 по 22 июня 2023 г. Объектом исследования были водоплавающие птицы, относящиеся к отряду гусеобразных, семейству утиных. Учеты проводили утром и вечером [6], [7]. Общая протяженность маршрутов составила около 15 км. Видовую принадлежность птиц устанавливали по справочникам и определителям [5]. Для анализа данных использована программа Microsoft Excel (2019) и Microsoft Word (2019).

Результаты исследования и их обсуждение. В районе исследования обнаружены кряква обыкновенная (*Anas platyrhynchos*) и хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*). Для каждого дня мы подсчитали общее число птиц. В первый день наблюдений нами было встречено 48 (48 кряквы и 0 чернети) особей утром, 85 (79 кряквы и 6 чернети) – вечером. Во второй день: 44 (44 кряквы и 0 чернети) особи утром, 95 (92 кряквы и 3 чернети) – вечером. На третий день: утром встречено 27 (27 кряквы и 0 чернети) особей, вечером – 99 (97 кряквы и 2 чернети) особей. Таким образом, подавляющее большинство уток (97 %) были обыкновенной кряквой и около 3 % чернети, в то время как в конце 20-го столетия и начале 21-го хохлатые чернети встречались на территории города Череповца только на пролете [4]. Соотношение самцов и самок у обыкновенной кряквы составляло 43 %

и 57 %, а у хохлатой чернети 45 % и 55 %. При этом соотношение крякв без выводков и с выводком составило 62 % и 38 %. Судя по тому, что с уткой было от 11 до 24 птенцов, а максимальный выводок одной утки составляет примерно 14 птенцов [3], то, скорее всего, более опытные самки забрали под свою опеку птенцов у более молодых уток, как это известно для других видов утиных [3]. Также стоит отметить, что количество самцов кряквы превышает количество самок, возможно, это связано с их более активным поведением или, возможно, еще не все самки с выводками покинули гнезда.

Птицы чаще всего держались ближе к западному берегу, где утки подкармливаются людьми, у восточного берега, где имеются естественные места для отдыха, отмечались единичные утки. Местами у западного берега имеются участки с высокой травой, в которых прятались утки с выводком. Не исключено, что эти утки здесь и гнездились, как это отмечали Н. П. Коломийцев и Н. Я. Поддубная (устное сообщение). Но основная масса птиц, видимо, «скатились» сюда с ягорбских разливов, которые расположены севернее города и дачных участков, именно в тех местах в весеннее время наблюдается 30-40 гнездящихся в границах города уток.

Если об активности птиц судить по количеству встреченных особей, то их активность была выше вечером. Эта активность напрямую связана со временем отдыха и активностью людей. Оказалось, что водоплавающие птицы в основном обитают в районе набережной, где их регулярно подкармливают люди. Значимым фактором может быть межвидовая конкуренция. В период наших наблюдений были встречены сизые чайки (*Larus canis*), которые агрессивно выхватывали пищу у других птиц. Не исключено, что чайки могут и заклевывать птенцов уток, снижая успех размножения обыкновенной кряквы.

Таким образом, на 2,5 км участке реки Ягорбы в городе Череповце найдены два вида пластинчатоклювых птиц: хохлатая чернеть и кряква обыкновенная. Впервые хохлатая чернеть найдена здесь в гнездовой период. В Москве этот вид довольно распространен и даже проводилось многолетнее исследование структуры и численности городской популяции хохлатых чернетей, которые размножаются в мегаполисе [2]. В г. Москва численность кряквы в целом была выше, чем хохлатой чернети, как и в Череповце. Что касается распределения, то и в мегаполисе важным фактором для жизни уток является обильная кормовая база, обеспечиваемая людьми [2]. Поэтому обыкновенную крякву можно назвать факультативным синантропом [1].

Благодарности. Выражаем благодарность ведущему научному сотруднику Череповецкого государственного университета Н. Я. Поддубной за

сопровождение работы и искреннюю признательность студентам группы 9Бб-01-1оп-21: Д. С. Сорокиной, В. А. Кангиной, В. С. Фоякиной за помощь в проведении наблюдений.

Список литературы

1. Авилова К. В. Зимовки водоплавающих птиц в городах умеренного климатического пояса России и определяющие их факторы // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2023. № 8. С. 58–62.
2. Авилова К. В. Структура и динамика численности городской популяции хохлатой чернети (*Aythya fuligula*, Anseriformes, Anatinae) в Москве // Зоологический журнал. 2022. № 11. С. 1255–1255.
3. Коломийцев Н. П. К биологии чешуйчатого крохоля *Mergus squamatus* в бассейне реки Киевки (Южное Приморье) // Русский орнитологический журнал. 2019. Т. 28, № 1823. С. 4364–4384.
4. Кулаков Д. В., Кутерницкая Е. А., Бабушкин М. В. Птицы Череповца. Череповец: Порт-Апрель, 2017. 127 с.
5. Масалов А. А., Волцит П. М. Птицы России. Определитель. Москва: Аванта, 2019. 96 с.
6. Новиков Г. А. Полевые исследования по экологии наземных позвоночных. Москва: Сов. наука, 1953. 503 с.
7. Поддубная Н. Я., Коломийцев Н. П. Роль млекопитающих в лесных экосистемах Юго-Восточного Сихотэ-Алиня. Череповец: ЧГУ, 2016. 253 с.

УДК 504

Использование метода секвенирования нового поколения (NGS) в биолого-экологической оценке состояния объектов окружающей среды

Е. В. Никитинская¹, Д. А. Никитинский², А. Е. Иванова³

^{1,2}ООО “БиоСпарк”, Москва, Троицк, Россия,

³МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия

Nikitinskajacat@yandex.ru

Аннотация. Обсуждаются возможности и области применения молекулярно-генетических исследований природных объектов, основанных на технологии NGS (next generation sequencing), в биолого-экологических исследованиях. Метод секвенирования нового поколения успешно используется для оценки общего разнообразия микроорганизмов в разных природных средах (почве, воде, воздухе), для характеристики

состава и структуры микробиомов в природных объектах разной степени нарушенности. На основании получаемых данных становится возможным детектировать присутствие и количественно оценивать долю в общем микробном пуле организмов, относящихся к определенным экологическим, функционально значимым группам прокариот и эукариот. В зависимости от задач исследований возможно идентифицировать наличие вирусов, бактерий и грибов, участвующих в биогеохимических циклах, агентов биокоррозии, возбудителей заболеваний растений, санитарно-значимых и потенциально патогенных для человека видов. Информация, получаемая данным методом, успешно используется для решения разнообразных практических задач

Ключевые слова: генетические методы, полимеразная цепная реакция, секвенирование нового поколения, микробиологическое профилирование, биокоррозия, полногеномное секвенирование, бактерии и грибы, городская среда, городские почвы, рекультивация, озеленение

Abstract. The possibilities and applications of molecular genetic studies of natural objects based on NGS (next generation sequencing) technology in biological and ecological research are discussed. The new generation sequencing method is successfully used to assess the overall diversity of microorganisms in different natural environments (soil, water, air), to characterize the composition and structure of microbiomes in natural objects of varying degrees of disturbance. Based on the data obtained, it becomes possible to detect the presence and quantify the proportion in the total microbial pool of organisms belonging to certain ecological, functionally significant groups of prokaryotes and eukaryotes. Depending on the research objectives, it is possible to identify the presence of viruses, bacteria and fungi involved in biogeochemical cycles, biocorrosion agents, plant pathogens, sanitary-significant and potentially pathogenic species for humans. The information obtained by this method is successfully used to solve a variety of practical problems.

Keywords: genetic methods, polymerase chain reaction, new generation sequencing, microbiological profiling, biocorrosion, genome-wide sequencing, bacteria and fungi, urban environment, urban soils, reclamation, landscaping

В настоящее время преобладающими сферами широкого и обязательного применения генетических методов, безусловно, являются медицинская и судебная практика. Однако молекулярно-генетические методы имеют огромный потенциал как инструмент для успешного решения многих вопросов генетики, физиологии, современной эволюционной теории.

Секвенирование геномов к настоящему времени снабдило нас значительным объемом молекулярных каталогов по устройству многих живых организмов. В последнее десятилетие произошло стремительное расширение и углубление библиотек, что позволило сформировать новые направления прикладного характера и начать использовать накопленные данные в эколого-биологических исследованиях.

Биотехнологическая лаборатория “БиоСпарк” является контрактной площадкой, позволяющей исследователям найти ответы на интересующие их вопросы с помощью методов NGS (nextgenerationsequencing).

Микробиологическое профилирование, основанное на параллельном исследовании эволюционно консервативного гена для всех микроорганизмов, выделенных из образца биоматериала, используется для определения микробного состава естественных и техногенных объектов.

Методика включает несколько этапов. Из образцов почвы выделяют ДНК. Проводят двухэтапную ПЦР. На первом этапе проводится амплификация области V3–V4 гена 16S рРНК при выявлении прокариот с использованием праймеров, универсальных для всех прокариот, и/или гипервариабельного ITS2 участка гена 18S рРНК с использованием праймеров, универсальных для всех эукариот. Исследование позволяет определить относительное содержание каждого из микроорганизмов в образце с высокой точностью (не менее 0.01%). На втором этапе после очистки на магнитных частицах и измерения концентрации флуориметрическим методом получаемые ампликоны используются в качестве готовых библиотек для мультикомплексного секвенирования на платформе IlluminaMiSeq. На образец закладывается 10 000 парных считываний или более. Обработка данных секвенирования проводится с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 1.9.1, включающего объединение прямых и обратных прочтений, удаление технических последовательностей, фильтрацию последовательностей с низкими показателями достоверности прочтения отдельных нуклеотидов (качество менее Q30), фильтрацию химерных последовательностей, выравнивание прочтений на используемую референсную последовательность (16S рРНК или 18S рРНК). Окончательная идентификация – распределение последовательностей по таксономическим единицам – проводится с использованием базы данных Silva, порог классификации операционных таксономических единиц (OTE) с открытым референсом (Open-referenceOTU) – 97 % [2].

Выявление таксономического состава и структуры пула почвенного микробиома имеет фундаментальное и острое практическое значение для понимания происходящих в почве биогеохимических процессов и их скоростей; при анализе роли почвенной биоты в круговоротах биофильных

элементов; при оценке участия почвенных микроорганизмов в трансформации органического вещества почвы, питательных веществ, используемых растениями, в изменении почвенных свойств, определяющих состояние почвы как местообитания самих микроорганизмов и растений.

Оценка общего биоразнообразия экосистемы важна для понимания и дальнейшего прогнозирования путей трансформации почвенного биома в конкретной экологической обстановке. Однако при трактовке получаемых данных недостаточно ограничиваться только перечислением выявленных таксономических групп, необходимо анализировать экологический и функциональный потенциал обнаруживаемого пула. Получаемая информация об имеющемся микробном пуле может быть полезна при поиске способов управления почвенным плодородием для разработки мероприятий по целевой активации определенных функциональных групп микроорганизмов. Такие задачи постоянно возникают в сельском хозяйстве, в городском озеленении. Так, в исследованиях факультета почвоведения МГУ городских почв, расположенных в разных природно-климатических зонах (от Сыктывкара до Сочи), по данным метода секвенирования нового поколения установлено, что использование привозных рекультивационных смесей и грунтов для создания новых городских почв приводит к существенному увеличению разнообразия почвенного микробного пула, расширению спектра грибов и бактерий, принимающих активное участие в процессах трансформации углерода и азота в почве, способных к синтезу биологически активных веществ и разложению загрязнителей и ксенобиотиков. Существенное пополнение разнообразными функционально активными группами микроорганизмов исходно обедненных городских почв урбаноземов должно иметь благоприятное влияние для городской экосистемы в целом [1].

Другим важным практическим результатом профилирования почвенного микробного пула является качественная и количественная оценка наличия возбудителей заболеваний растений – факультативно патогенных грибов и бактерий, что служит основой для корректировки агротехнических мероприятий по содержанию растений и выбора режимов обработки, подбора оптимальных биоцидных препаратов. В этих целях метод уже успешно применяется при исследовании состояния рекультивационных смесей и почвогрунтов, используемых при ремедиации нарушенных территорий, при городском благоустройстве, создании газонов и почв конструкторземов, а также при анализе семян и посадочного материала, в питомниках. Использование метода секвенирования нового поколения для своевременной диагностики и регулярного контроля возбудителей заболеваний растений экономически весьма целесообразно.

В последние десятилетия ввиду развития рисков для здоровья человеческой популяции ученые обращают внимание на значительное увеличение присутствия потенциально патогенных организмов в городских почвах, в пыли, воздушной городской среде. Более половины населения земного шара проживает в городах. Кардинальные изменения состояния разных природных объектов в городских экосистемах сопровождаются существенными трансформациями природных микробных сообществ. При анализе состава и структуры микробиомов разных объектов городской среды методом секвенирования нового поколения возможно проводить быструю оценку присутствия микроорганизмов, потенциально опасных для здоровья человека. Это расширяет наши возможности к проведению своевременных мероприятий по улучшению качества городской среды, предупреждению развития заболеваний человека. Так, при анализе почв в городах разных природных зон было выявлено, что почвенное конструирование в случае использования рекультивационных смесей, исходно (как показано методом секвенирования) чистых от санитарно-значимых бактерий и с низким обилием потенциально патогенных грибов, – может способствовать прямо и косвенно очищению городской среды, и данный эффект точно сохраняется в первые 1-2 года после создания почв.

Микробиологическое профилирование методом секвенирования нового поколения (NGS), осуществляемое на базе ООО “БиоСпарк”, применяется для решения важнейших вопросов борьбы с биокоррозией. Биоагенты повреждений постоянно присутствуют в окружающей среде – почве, воздухе, воде, результатом их деятельности является преждевременный выход из строя насосного оборудования, подземных трубопроводов, поверхностных коммуникаций. Известно, что общемировые расходы нефтяной промышленности на борьбу с коррозией составляют 3,7 миллиардов долларов в год. Определение полного микробного состава коррозионных микроорганизмов является крайне актуальной задачей.

Благодаря накопленному за последние годы опыту в лаборатории "БиоСпарк" такие задачи решаются с высокой точностью и специфичностью. Разработанные специализированные методики предварительной подготовки и выделения ДНК из образцов позволяют анализировать различные типы проб: технологические жидкости, биопленки, соскобы, свидетели коррозии. Особенностью собственных методик является возможность проведения анализов без культивации микроорганизмов в накопительных культурах, непосредственно в таких сложных для технической подготовки образцах. Результатом каждого анализа является обнаружение и идентификация организмов, вызывающих коррозию, из следующих групп прокариот: 1) сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ); 2) суль-

фатвосстанавливающие археи; 3) сероокисляющие бактерии (тиобактерии); 4) сероокисляющие археи; 5) углеводородокисляющие бактерии; 6) железоокисляющие бактерии; 7) метаногенные бактерии. Предоставляемые данные позволяют заказчикам подбирать успешные стратегии предотвращения биокоррозии, использовать наиболее подходящие биоцидные препараты, осуществлять регулярный контроль эффективности обработки.

Кроме того, на базе лаборатории "БиоСпарк" осуществляется полное прочтение геномов изучаемых организмов, микробиологическое профилирование вирусов для количественной оценки вирусного разнообразия образца, тотальное секвенирование геномной ДНК образца "методом дробовика" (shotgun) для таксономического и функционального анализа микробных сообществ или *De novo* секвенирование ДНК чистой линии для анализа структуры генома.

Список литературы

1. Иванова А. Е. и др. Микобиота городских конструкторов // Современная микология в России – 2022. Т. 9. Материалы Пятого съезда микологов России (Москва, 12–14 октября 2022 г.). Москва: Национальная академия микологии, 2022. С. 115–117.
2. Morey M., Fernandez-Marmiesse A., Castineiras D., Fraga J. M., Couce M. L., Cocho J. A. A glimpse into past, present, and future DNA sequencing. *Mol Genet Metab* 2013. Vol. 110. P. 3–24.

УДК 574. 64

Накопление ртути в мышечной ткани рыб Вологодской области

Е. Д. Павлова

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
katarinka.2018@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты измерения ртути в мышцах десяти видов рыб (речной окунь, обыкновенная щука, обыкновенный судак, уклея, обыкновенный ёрш, лещ, язь, густера, европейская ряпушка, обыкновенная плотва), выловленных из пяти водных объектов Вологодской области (озера Святое, Боровское и Кубенское, Шекснинское водохранилище, река Сухона). Полученные

данные могут быть применимы для оценки состояния рассматриваемых водных экосистем.

Ключевые слова: ртуть, предельно допустимая концентрация (ПДК), недельная норма.

Abstract. Results of measurement of mercury in muscles of ten species of fish (*Perca fluviatilis*, *Esox lucius*, *Sandax lucioperca*, *Alburnus*, *Gymnocephalus cernuus*, *Abramis*, *Leuciscus idus*, *Blicca bjoerkna*, *Coregonus albula*, *Rutilus rutilus*) are shown in this paper. Obtained data can be used for evaluation of the state of examined aquatic ecosystems.

Keywords: mercury, maximum permissible concentration, weekly norm.

Рыболовство является одним из традиционных видов деятельности населения Северо-Запада России, в том числе Вологодской области [2]. В мышечной ткани рыб из водоемов Вологодской области неоднократно регистрировались высокие значения содержания ртути [1, 3, 4]. Частое употребление рыбы из местных водоемов может создать риск накопления ртути в организме людей и негативных последствий для здоровья.

В России регулирование поступления ртути в организм человека основано на ограничении потребления рыбной продукции с содержанием ртути выше ПДК (0,3 мкг/г для нехищных пресноводных рыб, 0,6 мкг/г для хищных пресноводных рыб в соответствии с СанПин 2.3.2.560-96). Значения ПДК универсальны – они устанавливаются независимо от количества потребляемой рыбы, массы тела и возраста человека. При этом европейские и американские организации здравоохранения рекомендуют оценивать безопасность потребления рыбы на основе расчета безопасной дозы ртути, поступающей в организм человека в течение определенного времени (RfD).

Цель работы изучить накопление ртути у рыб различного трофического статуса в водоемах Вологодской области, для оценки безопасного объема потребления рыбы местным населением.

Определение концентрации ртути в мышечной ткани рыб (речной окунь, обыкновенная щука, обыкновенный судак, уклейка, обыкновенный ёрш, лещ, язь, густера, европейская ряпушка, обыкновенная плотва), отловленных сотрудниками Вологодского филиала ФГБНУ "ВНИРО" в некоторых водоемах и водотоках Вологодской области (о. Святое, о. Боровское и о. Кубенское, Шекснинское водохранилище, р. Сухона) в 2022 году, проводилось на ртутном анализаторе РА-915М.

Содержание ртути в мышцах рыбы варьирует от 0,039 мг/кг у леща до 1,167 мг/кг у окуня. Выявлено статистически значимое различие по со-

держанию токсиканта в мышечной ткани между окунем и всеми мирными видами рыб (кроме европейской ряпушки), а также между лещом и густерой.

Содержание тяжелого металла в мышцах речного окуня колеблется от 0,168 мг/кг у особей из Боровского озера до 1,167 мг/кг у рыбы из Святого озера. При сравнении уровня ртути в мышечной ткани речного окуня из разных водных объектов было установлено уменьшение среднего значения ($AM \pm SD$, мг/кг) концентрации тяжелого металла в ряду: озеро Святое ($AM \pm SD = 0,542 \pm 0,184$ мг/кг) > озеро Кубенское ($AM \pm SD = 0,499 \pm 0,271$ мг/кг) > Шекснинское водохранилище ($AM \pm SD = 0,388 \pm 0,066$ мг/кг) > река Сухона ($AM \pm SD = 0,321 \pm 0,147$ мг/кг) > озеро Боровское ($AM \pm SD = 0,278 \pm 0,064$ мг/кг). Показано, что озёра Святое и Боровское достоверно различаются между собой по уровню ртути в мышцах речного окуня.

Концентрация ртути в мышечной ткани рыб из Святого озера варьирует от 0,064 мг/кг у леща до 1,167 мг/кг у окуня. В результате измерения содержания ртути в мышцах рыб из Святого озера отмечено уменьшение среднего значения ($AM \pm SD$, мг/кг) концентрации токсиканта в ряду: окунь ($AM \pm SD = 0,542 \pm 0,184$ мг/кг) > ряпушка ($AM \pm SD = 0,364 \pm 0,046$ мг/кг) > ёрш ($AM \pm SD = 0,242 \pm 0,092$ мг/кг) > густера ($AM \pm SD = 0,230 \pm 0,054$ мг/кг) > плотва ($AM \pm SD = 0,224 \pm 0,076$ мг/кг) > уклейка ($AM \pm SD = 0,175 \pm 0,036$ мг/кг) > судак ($AM = 0,174$ мг/кг) > лещ ($AM \pm SD = 0,152 \pm 0,090$ мг/кг). Кроме того, было выявлено достоверное различие по уровню ртути между речным окунем и мирными видами рыб, за исключением европейской ряпушки.

Содержание ртути в мышцах рыб из Шекснинского водохранилища колеблется от 0,0397 мг/кг у леща до 0,7266 мг/кг у щуки. При определении концентрации тяжелого металла в мышечной ткани рыб из Шекснинского водохранилища показано уменьшение среднего значения ($AM \pm SD$, мг/кг) уровня ртути в ряду: окунь ($AM \pm SD = 0,388 \pm 0,066$ мг/кг) > щука ($AM \pm SD = 0,287 \pm 0,181$ мг/кг) > язь ($AM \pm SD = 0,181 \pm 0,106$ мг/кг) > лещ ($AM \pm SD = 0,100 \pm 0,058$ мг/кг). Отмечено статистически значимое различие по содержанию токсиканта в мышцах между речным окунем и мирными видами рыб.

Согласно СанПиН, концентрация ртути в мирных (нехищных) видах пресноводных рыб не должна превышать 0,3 мг/кг сырой массы, а в хищных пресноводных видах – 0,6 мг/кг сырой массы. Сравнение полученных результатов с предельно допустимыми концентрациями показало, что содержание токсиканта в мышцах хищных видов превышает ПДК в 24 % окуней и 11 % щук, что составляет 21 % от общего числа особей хищных

рыб. Концентрация тяжелого металла в мышечной ткани мирных видов превышает ПДК в 17 % от общего числа особей плотвы, 5 % лещей, 100 % от общего числа особей ряпушки, 20 % ершей, 48 % от общего числа особей густеры, 33 % язей, что составляет 26 % от общего числа особей нехищных видов рыб. По процентному содержанию особей с концентрацией ртути, превышающей ПДК, первенствует река Сухона (50 %).

По нормативам, действующим в США, количество ртути, поступающей в организм человека с пищей, не должно превышать 0,0001 мг на 1 кг человеческого веса в день. Сравнение вычисленной массы ртути в мышцах рыбы с недельной нормой тяжелого металла, безопасной для человека массой 70 кг (0,049 мг) показало, что масса ртути превышает норму в 58 % окуней, 8 % изученных особей плотвы, 31 % лещей, 100 % изученных особей щуки и судака, 50 % особей язя и 34 % особей густеры. Доля рыб с массой ртути, превышающей норму, составляет 40 % от общего числа особей. По процентному содержанию рыбы с массой ртути, превышающей норму, лидирует Шекснинское водохранилище (75 %).

Список литературы

1. Комов В. Т., Степанова И. К., Гремячих В. А. Содержание ртути в мышцах рыб из водоемов Северо-Запада России: причины интенсивного накопления и оценка негативного эффекта на состояние здоровья людей // Актуальные проблемы водной токсикологии: сборник статей. Борок: Институт биологии внутренних вод РАН, 2004. С. 99–123.
2. Тропин Н. Ю. и др. Содержание ртути в мышечной ткани речного окуня (*Perca fluviatilis* (L.)) крупных водоемов Вологодской области // Токсикологический вестник. 2019. № 2 (155). С. 53–58.
3. Haines T. A., Komov V. T., Jagoe C. H. Lake acidity and mercury content of fish in Darvin National Reserve, Russia // Environmental Pollution. 1992. Vol. 78. P. 107–112.
4. Stepanova I. K., Komov V. T. Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast // Russian Journal of Ecology. 1997. Vol. 28. № 4. P. 260–264.

**Половозрастной состав группировки тигра (*Panthera tigris saltaica*)
в Лазовском заповеднике по данным фотоучётов**

Г. П. Салькина¹, Н. Я. Поддубная²

¹Объединённая дирекция Лазовского заповедника и национального парка «Зов тигра», с. Лазо, Лазовский район, Приморский край, Россия

²Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
tpsrus@mail.ru

Аннотация. В Лазовском заповеднике (площадь 1210 км²) фотоучёт тигра при помощи автоматических камер проводили в 2011–2022 гг. Тигрят возрастом младше года учитывали также во время зимнего следового учёта. Соотношение полов среди взрослых особей (самцы: самки) изменялось в соотношении от 1:0,57 до 1:2,50. В среднем преобладали самки в соотношении 1:1,24±0,1. Доля тигрят младше года была от 12 % до 39 % от общей численности группировки, в среднем, таких особей было 30±5 %. Доля полувзрослых особей изменялась от 0 до 24 %, в среднем их было 8±6 %. Варьирование половозрастной структуры может свидетельствовать о нестабильном состоянии группировки, на которой негативно сказывается антропогенный пресс с сопредельной территории.

Ключевые слова: тигр, половозрастной состав, фотоучёт, Лазовский заповедник

Abstract. In the Lazovsky Nature Reserve (an area of 1210 km²), a tiger photo census using camera traps was carried out in 2011–2022. Cubs under the age of one year were also taken into account during the winter tracking. The sex ratio of adult (males: females) varied from 1:0,57 to 1:2,50. On average, females prevailed in the ratio of 1:1,24±0,31. The proportion of cubs younger than one year was from 12 % to 39 %, on average these individuals were 30±5 %. The proportion of subadult individuals varied from 0 to 24 %, on average there were 8±6 %. The variation of the sex and age structure may indicate an unstable state of the grouping, which is negatively affected by anthropogenic pressure from the adjacent territory.

Keywords: tiger, sex-age structure, photocensus, Lazovsky Reserve

Структура популяций, включая половозрастной состав, формируется на основе общих биологических свойств вида и под влиянием факторов среды. От того, какова структура популяции в данный период времени, во

многом зависит направление её дальнейших изменений. В последнее время влияние антропогенных факторов на популяцию амурского тигра увеличивается [5, 6]. Это может негативно отразиться на популяции амурского подвида, занесённого в Красную книгу МОИП, Российской Федерации, приложение СИТЕЗ.

Половозрастной состав популяции тигра до последнего времени определялся в результате зимних следовых учетов. По размерам следов хорошо различаются тигрята возрастом младше года и взрослые самцы. Следы самки можно определить, если рядом с ней отмечены тигрята. Одиночные взрослые самки, молодые самки и самцы по размерным характеристикам следов попадают в одну группу взрослых и полувзрослых особей. На всё это накладываются ошибки при измерении следов, изменение их размеров со временем [5]. С появлением автоматических камер (фотоловушек), которые используются для изучения тигров, появилась возможность идентифицировать особей по фотографиям по уникальному у каждого тигра узору из полос и пятен на шкуре, а также определять их пол и примерный возраст [6]. Неоднократное фотографирование особей, зачастую в течение ряда лет, гарантирует точное определение их пола и возрастной категории. Появилась также возможность отслеживать тигрят до взрослого возраста. Всё это, несомненно, позволяет получать более точные данные по половозрастной структуре популяции тигра, чем это было возможно при использовании следового метода.

Объектом исследований является группировка тигра Лазовского заповедника (площадь 1210 км²), расположенного на восточном макросклоне горной гряды Сихотэ-Алинь. В непосредственной близости от заповедника для выманивания из них копытных животных, медведей, высеиваются овёс и соя на бывших сельскохозяйственных полях. На этих же полях установлены многочисленные охотничьи вышки, с которых отстреливают животных. Нередки случаи убийства браконьерами тигров, обитавших в Лазовском заповеднике и на сопредельной территории [7].

Фотоучёт тигра проводили в 2011–2022 гг. с декабря по февраль. Фотоловушки расставляли с плотностью 1 на 50 км² [7], в большинстве случаев вдоль основных долин, в местах вероятного прохождения тигров у деревьев, скальных выходов, являющихся объектами мечения хищников. В первую зиму жизни (возраст 0+) тигрята по размерам тела хорошо отличаются от взрослых. Таких особей мы считали ювенильными. Половозрелыми самцы становятся в возрасте 3 лет, самки в возрасте 3. 5–4 года [5]. Самцов в возрасте от 1 года до 3-х лет, а самок в возрасте от 1 до 3,5 года мы считали полувзрослыми, т. е. достигшими размеров взрослых, но ещё неполовозрелых.

Тигрята (возраст 0+) зачастую не попадают в фотоловушки [7], поэтому для определения в группировке хищника доли тигрят младше года дополнительно мы привлекали данные учётов тигра по следам в зимний период. Во время таких учётов в течение зимы собирали информацию о следах тигров, дважды или один раз в зимний сезон проводили маршрутный учёт [5].

С 2011 по 2022 гг. в течение 11 фотоучётов сфотографировали 33 взрослых тигра (17 самцов и 16 самок) и 14 полувзрослых особей, часть из которых перешла в группу взрослых. Во время фотоучётов и зимних следовых учётов зафиксировали 52 тигрёнка. Соотношение полов среди взрослых особей (самцы: самки) изменялось в соотношении от 1:0,57 до 1:2,50. В среднем, преобладали самки в соотношении $1:1,24 \pm 0,31$. Доля тигрят младше года в группировке тигров была от 12 % до 39 %, в среднем, таких особей было 30 ± 5 %. Доля полувзрослых особей изменялась от 0 до 24 %, в среднем их было 8 ± 6 %.

Соотношение полов всех сфотографированных взрослых особей было примерно равным. Если сравнивать данные за каждый год, то, в среднем, самки преобладали. Только зимой 2019–2020 гг. преобладали самцы. Во время этого фотоучёта было сфотографировано несколько самцов с сопредельной к заповеднику территории. Вероятно, это могло быть связано с исчезновением резидентных особей.

По данным сплошных и выборочных зимних следовых учётов в популяции тигра соотношение полов взрослых и полувзрослых особей смещено, в основном, в сторону самок [1]. На севере же ареала преобладают самцы. По данным фотоучёта, проведенного в Сихотэ-Алинском заповеднике, в южной части резервата преобладали самки, а в северной – самцы [4]. В южной части этого заповедника видовой состав потенциальных жертв тигра выше, чем в северных районах, и самки предпочитали выбирать такие местообитания.

В популяциях других подвидов тигра, обитающих в Юго-Восточной Азии, преобладание самок может достигать пятикратной величины [9, 10]. В среднем, в популяции амурского тигра среди взрослых особей доля самок ниже, чем в популяциях южных подвидов.

По данным сплошных и выборочных зимних следовых учётов доля тигрят в популяции тигра колебалась от 20 до 46 % [1, 2]. В Сихотэ-Алинском заповеднике в 1966–1993 гг. доля тигрят, в среднем, составила 22 % [10]. В среднем, доля тигрят в группировке тигра в Лазовском заповеднике остаётся высокой, хотя наметилась тенденция к её снижению [6].

Доля ежегодно фотографируемых полувзрослых особей в группировке Лазовского заповедника значительно варьирует. Это, скорее всего, связано

с тем, что выживаемость приступающих к самостоятельной жизни тигров зависит от численности населения кабана, которая также варьирует [3, 8]. Возможно, также, что не все полувзрослые тигры попадают в фотоучёты, т. к. перемещение таких особей отличается от перемещений взрослых. Молодые предпочитают держаться в местах, которые взрослые посещают не часто [8]. Большинство же фотоловушек устанавливается в местах, которые чаще посещают взрослые. Для устранения этого недоучёта, необходимо увеличить как плотность распределения камер, так и сроки фотоучётов.

В Сихотэ-Алинском заповеднике по данным следовых учётов в 1966–1993 гг. средняя доля полувзрослых особей была относительно высокой – 26 % [9, 10]. Низкая доля полувзрослых особей по сравнению с долей тигрят в Лазовском заповеднике может косвенно свидетельствовать о высоком уровне смертности во время их взросления. В процессе расселения молодые выходят на сопредельную территорию, где ведётся интенсивный охотничий промысел, нередки случаи браконьерских отстрелов тигров [7].

Таким образом, в более благоприятных местообитаниях доля самок в группировках тигра повышается, что прослеживается как на всём ареале тигра, так и в ареале амурского подвида. В популяции, находящейся в устойчивом состоянии, относительные численности различных её частей также устойчивы. Т. е. в такой популяции должны быть устойчивы отношения численностей полов, а также доли молодых,вливающих в популяции ежегодно. Имеющиеся данные о динамике половозрастной структуры тигра в Лазовском заповеднике свидетельствуют об обратном. На группировку негативно воздействует антропогенный пресс с сопредельной территории.

Список литературы

1. Матюшкин Е. Н. Амурский тигр в России. Библиографический справочник 1925–1997. Москва: Всемирный Фонд Дикой Природы, 1998. 416 с.
2. Матюшкин Е. Н. и др. Ареал и численность амурского тигра на Дальнем Востоке России в середине 90-х // Редкие виды млекопитающих России и сопредельных территорий. Москва: Териологическое общество, 1999. С. 242–271.
3. Салькина Г. П., Колесников В. С., Ерёмин Д. Ю. Сопряжённая динамика численности тигра и копытных животных в Лазовском заповеднике // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. 2018. № 7. С. 25–34.
4. Сутырина И. В. и др. Оценка популяции амурского тигра с помощью фотоловушек. Владивосток: Дальнаука, 2013. 156 с.
5. Юдин В. Г., Юдина Е. В. Тигр Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 485 с.

6. Salkina G. P. et al. *Panthera tigris altaica* (Carnivora, Felidae) in the Lazovsky State Nature Reserve and in the adjacent non-protected area (Far East of Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2022а. №7(4). P. 97–108. DOI. org/10.24189/ncr.2022.039.

7. Salkina G. P. et al. The survivability of individuals within a tiger (*Panthera tigris*) subpopulation in the Lazovsky Nature Reserve and Zov Tigra National Park, Russian Far East // Зоологический журнал. 2022в. Т. 101, № 12. С. 1429–1438.

8. Salkina, G. The tiger and it's relations with other species in South Sikhote-Alin. Germany: Lambert Academic Publishing, 2011. 161 p.

9. Shaller G. B. The deer and the tiger: a study of wildlife in India. Chicago: University of Chicago Press, 1967. 370 p.

10. Smirnov E. N., Miquelle G. D. Population dynamics of the Amur tiger in Sikhote-Alin Zapovednik, Russia // Riding the Tiger. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. P. 61–70.

УДК599.426

**Изучение рациона питания лесного нетопыря
Pipistrellus nathusii Keyserling et Blasius, 1839 (Chiroptera,
Vespertilionidae) Дарвинского государственного природного
биосферного заповедника**

С. А. Солнцева¹, В. В. Петрова², О. А. Шапкин³

^{1,2}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

³Дарвинский государственный природный биосферный заповедник,
п. Борок, Россия
barkovskaia@mail.ru

Аннотация. В работе дается описание рациона питания *Pipistrellus nathusii*, обитающего на территории Дарвинского государственного природного биосферного заповедника. В ходе анализа в экскрементах были определены пищевые объекты, принадлежащие 6 отрядам насекомых. Доминирующей категорией пищевого рациона лесного нетопыря являются представители отряда Coleoptera.

Ключевые слова: *Pipistrellus nathusii*, анализ экскрементов, питание

Abstract. The paper describes the diet of *Pipistrellus nathusii*, which lives on the territory of the Darwin State Natural Biosphere Reserve. During the analysis, food objects belonging to 6 insect orders were identified in the excrement. The dominant category of the food diet of the forest bat is representatives of the order Coleoptera.

Keywords: *Pipistrellus nathusii*, faeces analysis, diet

Насекомоядные рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) являются неотъемлемым компонентом лесных биоценозов Палеарктики. Поедая в большом количестве сумеречных и ночных насекомых, они уничтожают вредителей лесного и сельского хозяйства, а также переносчиков опасных инфекционных заболеваний, таких как малярия, филяриозы и различные комариные энцефалиты [1].

На территории Дарвинского государственного природного биосферного заповедника (ДГПБЗ) обитает 9 видов гладконосых рукокрылых. Все они являются типичными энтомофагами, питающимися относительно крупными насекомыми.

Целью данной работы было исследование рациона питания особей *Pipistrellus nathusii*, обитающих на территории ДГПБЗ.

Для выявления состава питания лесного нетопыря, нами были проанализированы фрагменты насекомых в экскрементах *P. nathusii*. Пробы экскрементов собирались в июне – июле 2022 г., после отлова летучих мышей в рамках мониторинга фауны рукокрылых на территории ДГПБЗ. Нами были проанализированы пробы экскрементов от 19 особей лесного нетопыря. Перед изучением, пробы экскрементов выдерживались в мыльном растворе, обрабатывались этиловым спиртом и глицерином для их обеззараживания и размягчения. Фрагменты насекомых определяли с точностью до отряда, а в отдельных случаях до семейства.

В пробах были обнаружены и определены фрагменты представителей 6 отрядов насекомых: жесткокрылые (Coleoptera), двукрылые (Diptera), ручейники (Trichoptera), сетчатокрылые (Neuroptera), перепончатокрылые (Hymenoptera) и чешуекрылые (Lepidoptera). Наиболее часто в пробах помета составляют фрагменты представителей отрядов Coleoptera, они отмечены во всех 19 пробах и в большом объеме. Фрагменты насекомых отрядов Diptera и Trichoptera встречались редко или единично в 18 и 12 пробах соответственно. Фрагменты Neuroptera – редко в 7 пробах, и Hymenoptera – единично в 6 пробах. Вместе с тем, результаты по последним отрядам насекомых, могут оказаться неоправданно заниженными, т. к. слабо инкрустированные и мягкотелые насекомые могут быть недооценены из-за того, что они хорошо и почти полностью перевариваются [2]. В значительной части проб экскрементов нетопыря были обнаружены отдельные фрагменты и целые особи гамазовых клещей семейства Macroonyssidae. Они являются типичными представителями эктопаразитофауны рукокрылых, и могли попасть в пищеварительный тракт нетопыря случайно, в результате вылизывания животными летательных перепон и шерсти. В

этой связи, их не рассматривают в качестве составляющей пищевого рациона рукокрылых.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен рацион питания лесного нетопыря, обитающего на территории Дарвинского государственного природного биосферного заповедника. Он представлен шестью отрядами насекомых, где доминирующей категорией являются представители отряда Coleoptera.

Список литературы

1. Первушина Е. М., Замшина Г. А., Николаева Н. В., Федякина М. А. Трофические связи насекомоядных рукокрылых на юге Среднего Урала // Вестник Удмурт. Ун-та. Биология. Науки о Земле. 2011. Вып. 3. С. 65–74.
2. Смирнов Д. Г., Вехник В. П. К изучению рациона питания *Nyctalus noctula* (Chiroptera: Vespertilionidae) на Самарской Луке // Известия Пензенского государственного университета им. В. Г. Белинского. 2011. №25. С. 258–263.

УДК 599. 742. 73+504. 75

К оценке экологической ниши бенгальской кошки *Prionailurus bengalensis* (Kerr, 1792) на северо-востоке ареала

Д. С. Сорокина

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
sorokinadasha2002@ya.ru

Аннотация. Исследования, проводившиеся на юге российского Дальнего Востока, показывают, что в рационе дальневосточного лесного кота (ДЛК), или амурского лесного кота – подвида бенгальской или леопардовой кошки можно выделить 5 основных групп животных: насекомые, рыбы, рептилии, птицы, млекопитающие и растения. Доминирующим компонентом в питании ДЛК являются мышевидные грызуны. В отличие от юго-западного Приморья основу рациона ДЛК на территории Южного Сихотэ-Алиня составляют млекопитающие и беспозвоночные, из них значительную долю составляют зайцеобразные и насекомые. В целом таксономический список кормовых объектов дальневосточного лесного кота больше, чем у других подвидов бенгальской кошки из разных локалитетов ее ареала. Это позволяет предполагать, что экологическая ниша бенгальской кошки на севере ее

ареала шире, чем на юге, что согласуется с теорией биоразнообразия Н. П. Коломийцева.

Ключевые слова: дальневосточный лесной кот, дикие кошачьи, Приморский край, экологическая ниша, Южный Сихотэ-Алинь, теория биоразнообразия Н. П. Коломийцева

Abstract. Studies in the south of the Russian Far East show that in the diet of the Far Eastern forest cat (FEFC) or amurforest cat, a subspecies of the Bengal or leopard cat, 5 main groups of animals can be distinguished: insects, fish, reptiles, birds, mammals and plants. The dominant component in the diet of FEFC are mouse-like rodents. In contrast to the south-western Primorye, the basis of the FEFC diet in the territory of Southern Sikhote-Alin is mammals and invertebrates, of which a significant proportion are hares and insects. In general, the taxonomic list of food objects of the Far Eastern forest cat is larger than that of other subspecies of the leopard cat from different localities of its area. This suggests that the ecological niche of the leopard cat in the north of its area is wider than in the south, which is consistent with N. P. Kolomytsev's theory of biodiversity.

Keywords: *Prionailurus bengalensis euptilurus*, Felidae, nutrition, Primorsky Krai, ecological niche, Southern Sikhote-Alin, N. P. Kolomytsev's theory of biodiversity

Введение. Экологическая ниша – это фундаментальное понятие, которое характеризует положение вида в экосистеме, включая как требования к среде обитания видов, так и функциональную роль вида [6]. Экологическая ниша охватывает все взаимодействия между видом и биотической и абиотической средой. В концепции ниши как экологической функции вида, каждый вид играет особую роль в экосистеме и ее динамике, и одну такую роль могут выполнять разные виды в разных местах. Функциональная ниша относится к видовому положению в пищевых сетях и трофических цепях. Наиболее важной является именно трофическая ниша, потому что она связана с круговоротом веществ и потоком энергии. В умеренных широтах животные имеют более широкие по сравнению с тропиками экологические ниши [1]. Бенгальская, или в английском языке леопардовая кошка (*Prionailurus bengalensis* (Kerr, 1792)) имеет обширный ареал, северная часть которого заходит на территорию российского Дальнего Востока. Здесь обитает подвид дальневосточный, или амурский лесной кот (ДЛК) (*Prionailurus bengalensis euptilurus* (Elliot, 1871)). Целью нашей работы было изучить питание этого подвида и сравнить с питанием более

южных подвидов, чтобы сложить представление о трофической нише леопардовой кошки на северо-востоке ареала.

Материалы и методы. Собранный материал представляет собой экскременты и содержимое пищеварительного тракта погибших лесных котов ($n = 24$), собранных в Лазовском и Ольгинском районах Приморского края Г. П. Салькиной и Н. Я. Поддубной в период с 2018 по 2021 гг. Образцы хранились в морозильной камере, затем были промыты и отсортированы на фракции (кости, шерсть, перья, остатки беспозвоночных животных, растений и пр.) В. А. Никандровой. Для таксономической идентификации использовались эталоны из зоологической коллекции кафедры биологии Череповецкого государственного университета и справочная литература.

Результаты исследования и их обсуждение. В исследуемых образцах мы обнаружили остатки представителей пяти групп животных (насекомых, рептилий, земноводных, птиц и млекопитающих), а также растений. Большую часть рациона составляли млекопитающие (встречаемость 87,5 %) и беспозвоночные (42 %). Из млекопитающих ДЛК поедали представителей 13 видов: кутору (*Neomys fodiens*), белозубок (*Crocidura sp.*), азиатского барсука (*Meles leucurus*), зайцев (*Lepus sp.*), обыкновенную белку (*Sciurus vulgaris*), дальневосточную полёвку (*Microtus fortis*), красно-серую (*Myodes rufocanus*) и красную (*Myodes rutilus*) полёвок, серую крысу (*Rattus norvegicus*), восточно-азиатскую (*Apodemus peninsulae*) и полевую (*Ap. agrarius*) мышей, мыш-малютку (*Micromys minutus*), сибирскую косулю (*Capreolus pygargus*). Мелкие грызуны (Muridae) оказались наиболее часто поедаемым компонентом рациона дальневосточных лесных котов (встречаемость 62,5 %), встречаемость остатков зайцев составила 12,5 %. Остатки других млекопитающих составляли по 4 % встречаемости, остатки птиц – 21 %, рептилий – 8 %, амфибий и рыб – по 4 %. Из беспозвоночных наиболее часто поедались различные насекомые (37,5 %) и единично – моллюски.

В других районах Приморского края по данным I. V. Seryodkin и O. A. Burkovskiy (2019) количество объектов составило 49 таксонов и 5 основных групп (насекомые, рыбы, рептилии, птицы, млекопитающие). По материалам В. Г. Юдина (2015) – 24 объекта и 4 основные группы животных (земноводные, рыбы, птицы и млекопитающие). В отличие от исследования В. Г. Юдина (2015), которое показало, что основными источниками питания ДЛК являются мышевидные грызуны, главным образом, полевки, на юго-востоке Приморья значительную роль играет восточно-азиатская мышь – фоновый вид в лесных экосистемах в данном регионе [2]. У ДЛК замечены случаи каннибализма [3]. Леопардовые кошки могут употреблять в пищу падаль, выброшенные остатки копытных (шкуру, го-

ловы, внутренние органы и конечности), которые нередко оставляют охотники [3].

В Пакистане у леопардовой кошки количество объектов составило 18 таксонов и 4 основных группы (млекопитающие, птицы, амфибии и рыбы) [8]. Основу питания составляли мышевидные грызуны. В Китае, в Северном Лаосе и в Бангладеш установлено, что основу питания другого подвида леопардового кота также составляют мышевидные грызуны [4, 5, 9]. Основу питания бенгальской кошки в восточном заповеднике дикой природы в Бангладеш составляли мышевидные грызуны, и все жертвы относятся к пяти группам: млекопитающим, насекомым, пресмыкающимся и крабам, а также растения [5]. Питание другого подвида леопардовой кошки из исследования, которое проводилось в центральной части Китая получилось сходным с питанием ДЛК на юго-востоке Приморского края: отмечалось 5 основных групп корма (мышевидные грызуны, зайцеобразные, хищные и две группы птиц), но общий список был меньше, чем полученный в Приморье [9, 3, 7, наши данные]. По данным исследования в Северном Лаосе известно, что у другого подвида леопардового кота не было найдено остатков насекомых и амфибий [4]. В целом общие таксономические списки кормовых объектов непальской кошки из локалитетов, расположенных южнее ареала ДЛК, оказались меньше, чем на юге российского Дальнего Востока.

Вывод. Результаты исследования и анализа литературных данных позволяют предполагать, что экологическая ниша бенгальской кошки на севере ее ареала шире, чем на юге, что согласуется с теорией биоразнообразия Н. П. Коломийцева [1].

Благодарности. Выражаем благодарность с. н. с. Лазовского заповедника канд. биол. наук Г. П. Салькиной и доценту кафедры Биологии Череповецкого государственного университета, канд. биол. наук, доценту Н. Я. Поддубной за предоставленный для анализа полевой материал, В. А. Никандровой – за первичную обработку полевого материала.

Список литературы

1. Коломийцев Н. П., Поддубная Н. Я., Афанасьева Н. Б. Теория пространственно-временной адаптации для правильных действий по сохранению биоразнообразия // Актуальные вопросы биогеографии: Материалы Международной конференции (Санкт-Петербург, 09–12 октября 2018 года). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2018. С. 192–194. EDN MGVHQQG.

2. Поддубная Н. Я., Коломийцев Н. П. Роль млекопитающих в лесных экосистемах Юго-Восточного Сихотэ-Алиня. Череповец: ЧГУ, 2016. 253 с.

3. Юдин В. Г. Дальневосточный лесной кот. Владивосток: Дальнаука, 2015. 442 с.
4. Kamler J. et al. Diet, preyselection, and activity of Asian golden cats and leopard cats in northern Laos // *Journal of Mammalogy*. 2020. No. 101(5). P. 1–12.
5. Khan H., M. Monirul Food habit of the Leopard Cat *Prionailurus bengalensis* (Kerr, 1792) in the Sundarbans East Wildlife Sanctuary, Bangladesh // *Zoos' Print Journal*. 2004. No. 19 (5). P. 1475–1476.
6. Polechová J., Storch D. Ecologicalniche // Elsevier: *Encyclopedia of Ecology*. 2008. No. 2. P. 1088–1097.
7. Seryodkin I. V. and Burkovskiy O. A. Food Habit Analysis of the Amur Leopard Cat *Prionailurus bengalensis euptilurus* in the Russian Far East // *Biology Bulletin*. 2019. No. 46 (6). P. 648–653.
8. Shehzad W. et al. Carnivore diet analysisbased on next-generationsequencing: application to the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in Pakistan // *Molecular Ecology*. 2012. No. 21(8). P. 1951–1965.
9. Xiong M. et al. Molecular dietary analysis of two sympatricfelids in the Mountains of Southwest China biodiversityhotspot and conservation implications // *Scientific Reports*. 2017. No. 7. P. 1–12.

УДК 612. 61

Влияние коронавирусной инфекции COVID-19 на мужскую фертильность

В. Н. Сухарева

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
Veranikolaevna04@mail.ru

Аннотация. Коронавирусная инфекция COVID-19 была объявлена Всемирной организацией здравоохранения новой опасной вирусной инфекцией с полиорганным поражением. Безусловно, репродуктивная система человека не является исключением [2]. Уже известно, что вирус SARS-CoV-2 был обнаружен в семенной жидкости у пациентов с COVID-19 [3]. Логично предположить, что, как и многие иные вирусы, он способен вызывать повреждения ткани яичек, приводя тем самым к снижению фертильности. Вирус может напрямую и опосредованно влиять на мужское здоровье. В данной работе, представлены результаты исследования влияния коронавирусной инфекции COVID-19 на репродуктивное здоровье мужчин Вологодской области.

Ключевые слова: мужская фертильность, COVID-19, коронавирусная инфекция, сперматогенез, вирусные инфекции

Abstract. Coronavirus infection COVID-19 has been declared by the World Health Organization as a new dangerous viral infection with multiple organ damage. Of course, the human reproductive system is no exception. It is already known that the SARS-CoV-2 virus has been detected in the seminal fluid of patients with COVID-19. It is logical to assume that, like many other viruses, it is capable of causing damage to testicular tissue, thereby leading to decreased fertility. The virus can directly and indirectly affect men's health. This paper presents the results of a study of the impact of coronavirus infection COVID-19 on the reproductive health of men in the Vologda region.

Keywords: male fertility, COVID-19, coronavirus infection, spermatogenesis, viral infections

Введение. Мужская фертильность за последнее десятилетие прогрессирующее снижается. Согласно статистическим данным, в России на долю мужского фактора в структуре бесплодия приходится от 20 до 50 %. Проблема пандемии, вызванная вирусом COVID19, пока остается недостаточно изученной в отношении мужского здоровья. Однако, уже сейчас описаны случаи агрессивного влияния коронавируса SARS-CoV-2 в отношении мужской мочеполовой системы, не только в острый период заболевания, но и период клинического выздоровления, проявляя себя различными осложнениями.

Цель исследования: изучение влияния коронавирусной инфекции COVID-19 на репродуктивное здоровье мужчин Вологодской области.

Объект исследования: мужчины репродуктивного возраста.

Для проведения оценки фертильности использовали данные результатов анализа спермограммы 147 мужчин в возрасте 22–38 лет, проходившие обследование в клинике репродукции ООО «Геном-Вологда» в период с 2021–2023 г.

Оценка параметров эякулята у мужчин осуществлялась дважды: до заболевания COVID-19 и переболевших данной инфекцией. Были исключены пациенты с наличием урологической патологии, с целью устранения влияния урологической патологии на сперматогенез. В исследование была включена группы мужчин, которая до заболевания короновирусной инфекцией имела нормальные показатели спермограммы (нормозооспермия).

Согласно руководству ВОЗ по исследованию и обработке эякулята человека, были проанализированы такие макроскопические показатели анализа спермограммы, как объем, вязкость, кислотность (pH) эякулята. Также были учтены концентрация, подвижность, морфологические характеристики сперматозоидов и MAR-тест.

Результаты исследования. По результатам исследования были выявлены отклонения в показателях спермограммы ниже порогового значения нормозооспермии у 39 % пациентов, перенесших заболевание. При сопоставлении макроскопических показателей эякулята (объем, вязкость, кислотность (рН) были отмечены незначительные изменения у 6 % пациентов, переболевших ССOVID-19. Среди них выявлена олигоспермия (снижение объёма эякулята менее 1,5 мл), а также визкозипатия (повышенная вязкость спермы).

Особо следует отметить и снижение концентрации сперматозоидов у 16% пациентов, подвижности – у 20% и снижение количества морфологически нормальных форм сперматозоидов у 28% наблюдаемых мужчин.

Анализ морфологических изменений сперматозоидов показал наличие значительного увеличения в семенной жидкости количества сперматозоидов с дефектами головки, при этом частота выявления сперматозоидов с дефектами в области хвоста значительно ниже.

Стоит отметить, что 24 % пациентов наблюдалось повышенное содержание лейкоцитов в эякуляте (лейкоспермия). Лейкоциты, нарушая целостность ДНК посредством оксидативного воздействия, могут влиять на подвижность сперматозоидов. По некоторым данным, влияние активных форм кислорода, выделяемых лейкоцитами, приводит к нарушению морфологии жгутика и акросомы сперматозоидов, а также приводит к повышению фрагментации ДНК [1].

Заключение. Результаты проведенного исследования показывают, что коронавирус SARS-CoV-2 оказывает негативное влияние на мужскую фертильность с позиции изменения концентрации сперматозоидов, их подвижности и морфологических характеристик. При этом отмечается и увеличение лейкоцитов в эякуляте.

Следует отметить, что необходимо проведение дальнейших исследований на большей выборке пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию, для выполнения полноценного статистического анализа.

Список литературы

1. Aziz N. et al. Novel associations between specific sperm morphological defects and leukocytospermia // *Fertility and Sterility*. 2004. Vol. 82 (3). P. 621–627.
2. Kamal M. et al. Assessment and characterisation of post-COVID19 manifestations // *Int J Clin Pract*. 2020. Vol. 75. P. e13746.
3. Xie Y. et al. SARS-CoV-2 effects on sperm parameters: a meta-analysis study // *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*. 2022. Vol. 39. P. 1555–1563.

**Изменение спектра эколого-ценотических групп растений
за 10 лет послерубочной сукцессии: причины и следствия**

Д. С. Трошин¹, Д. М. Мирин²

¹Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия,
troshin1515@mail.ru

Аннотация. В работе продемонстрирована динамика эколого-ценотических групп растений на протяжении десяти лет после рубки в ельнике черничном. Исследование проводилось на вырубках с различной давностью на территории Бабаевского района Вологодской области. Акцент сделан на изменении состава растительных групп травяно-кустарничкового яруса, которое коррелирует с изменениями в биотопе. Луговые виды резко нарастают на свежих вырубках и увеличивают своё обилие к пятому году после лесозаготовительных мероприятий. Болотные виды становятся преобладающими на 10-летних вырубках, где заметны процессы заболачивания. Исследование подчеркивает, что послерубочная трансформация растительных сообществ является длительным и многофакторным процессом, обусловленным изменениями экологических параметров.

Ключевые слова: послерубочная сукцессия, эколого-ценотические группы, динамика растительности, редкие виды, сосудистые растения

Abstract. The study demonstrates the dynamics of ecologo-cenotic plant groups over a ten-year period following logging in a spruce bilberry forest. The research was conducted on clear-cuts of varying ages in the Babayevsky District of the Vologda Region. The focus is primarily on the changes in the composition of plant groups in the herb-shrub layer, which correlate with changes in the habitat. Meadow species significantly increase on fresh clear-cuts and continue to proliferate by the fifth year following logging activities. Swamp species become dominant on ten-year-old clear-cuts, where bogging processes are noticeable. The study emphasizes that the post-logging transformation of plant communities is a long-term and multifactorial process influenced by changes in environmental parameters.

Key words: post-logging succession, ecologic and cenotic groups, vegetation dynamics, rare species, vascular plants

Введение. В области ботанических исследований концепция эколого-ценотических групп (ЭЦГ) получила достаточно широкое распространение и признание. Под ЭЦГ понимают группу сопряженных видов, встречающихся в одинаковых растительных сообществах и имеющих сходную экологическую приуроченность [1]. Эти группы служат важными индикаторами экологических условий. Актуальность изучения ЭЦГ возрастает и в контексте антропогенного воздействия на природные экосистемы, например, в случаях лесозаготовки. Сукцессионные изменения, происходящие после вырубки, могут иметь протяженные и многогранные воздействия на экологическую стабильность и функциональность биоценозов. Исследование этих процессов крайне важно для понимания текущих экологических вызовов, таких как климатические изменения и сокращение биологического разнообразия.

Целью данного исследования является анализ изменений в составе и распределении эколого-ценотических групп растений на протяжении 10-летнего периода послерубочной сукцессии. Исследование направлено на выявление ключевых факторов, влияющих на эти изменения, а также на определение последствий этих процессов для экосистемы, включая присутствие и распределение редких видов растений.

Материалы и методы. Исследование проводилось в 2021 году в период пика вегетации на территории Бабаевского района Вологодской области. Полевая работа была направлена на обследование лесных массивов и различных участков датированных вырубок в одном типе леса (ельник черничный влажный). Исследованы свежие вырубки, а также вырубки давностью 3, 5 и 10 лет. В анализ включены 48 пробных площадей размером 10×10 м, из которых 36 относились к вырубкам, 12 – прилегающий к вырубке исходный лес (контроль).

Отнесение видов к эколого-ценотическим группам, такие как таежные, неморальные и неморально-бореальные, опушечные, луговые, болотные, выполнена на основе существующих баз данных. Для оценки биотопических параметров почвы были использованы экологические шкалы Г. Элленберга [2].

Результаты. На контрольном участке, представляющем собой типичный ельник черничный, было выявлено 32 вида травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ). Доминирующими в этом ярусе являются таежные виды, составляющие 47 % от их общего числа, при этом их доля в проективном покрытии составляет 78 %. Субдоминантные позиции занимают неморальные и неморально-бореальные виды – 31 %. Вместе эти группы формируют 94 % проективного покрытия (ПП). Опушечные и луговые виды

составляют 19 и 3 % соответственно, но их суммарное проективное покрытие не превышает 6 %.

Плотность древостоя на данной территории составляет чуть больше 1000 экземпляров на гектар. Подрост хорошо развит и насчитывает в среднем 3350 экземпляров на гектар. Доля *Picea abies* (L.) H. Karst при этом составляет порядка 95 %, с незначительным присутствием *Betula pendula* Roth, *Pinus sylvestris* L. и *Populus tremula* L. Сомкнутость подлеска в контрольных участках составляет около 17 %, преимущественно с доминированием *Juniperus communis* L. Согласно экологическим шкалам Г. Элленберга, уровень освещенности варьирует от 5,1 до 5,7, что свидетельствует о преимущественном произрастании теневыносливых растений. Уровень увлажнения колеблется от 4,1 до 5,5, что соответствует средним показателям. Содержание азота в почвах низко и колеблется от 2,6 до 3,1 балла. Весьма низкий уровень pH указывает на кислые условия почв, обусловленные хвойным опадом. Отмечено 14 видов растений, редких и нуждающихся в биологическом контроле для Вологодской области: *Chimaphila umbellata* (L.) W.P.C. Barton, *Convallaria majalis* L., *Dactylorhiza fuchsia* (Druce) Soó, *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Goodyera repens* (L.) R. Br., *Hepatica nobilis* Schreb., *Hypopitys monotropa* Crantz, *Juniperus communis*, *Lathyrus sylvestris* L., *Lycopodium clavatum* L., *Neckera pennata* Hedw., *Platanthera bifolia* (L.) Rich и *Trommsdorffia maculata* (L.) Bernh. Большинство выявленных редких растений ельника приурочены к лесным видам ЭЦГ, их исчезновение будет свидетельствовать о нарушении сложившихся связей в лесном фитоценозе.

На свежих вырубках происходят значительные изменения в характеристиках растительных сообществ. Всего было выявлено 34 вида в ТКЯ. В результате антропогенного воздействия доля таежных видов в составе сообщества уменьшается до 26 %, а доля луговых увеличивается до 29 %. Однако проективное покрытие таежных, неморальных и неморально-бореальных видов остается достаточно высоким (52 и 30 % соответственно).

Подроста на этих участках практически столько же, сколько в исходном лесу, но увеличена доля подроста *Populus tremula* (60 % от общей численности подроста). Это указывает на активный процесс естественного лесовосстановления. Доля *Picea abies* в подросте достигает 38 %. Подлесок ограничен всего двумя видами растений: *Rubus idaeus* L. и *Sorbus aucuparia* L., их суммарное среднее проективное покрытие составляет не более 6 %. Средние параметры освещенности и увлажнения практически не изменяются и сохраняются на уровне контрольных участков. Однако

отмечается значительное увеличение азотного богатства почв, что может свидетельствовать о начале ускорения процессов минерализации органических веществ. Кислотность почвы колеблется в пределах от 3 до 6 рН. Среди редких и нуждающихся в биологическом контроле растений отмечены *Convallaria majalis*, *Hepatica nobilis*, *Lycopodium clavatum* и *Neckera pennata*.

На вырубках давностью три года был выявлен 41 вид в ТКЯ. Доля луговых видов составляет 44 % от общего числа видов, при этом их проективное покрытие равно 8 %. Таежные и неморально-бореальные группы видов сокращаются до 17 и 15 % от состава соответственно, что подтверждает активную смену лесных видов на луговые, а также опушечные.

Количество подроста превышает 5000 экземпляров на 1 га. Состояние *Picea abies* здесь ослабленное. Открытые условия, характерные для вырубок, негативно сказываются на выживаемости и развитии этой древесной породы. Подлесок становится более разнообразным. Уровень освещенности увеличивается до 7,9 балла. Влажность почвы остается на среднем уровне (4,1–5,5), но отмечается резкий рост содержания азота в почве (до 7,9 балла). Среди редких растений отмечены те же виды, что и на свежих вырубках.

На вырубках давностью пять лет, выявлено 78 видов в травяно-кустарничковом ярусе. Доля луговых видов увеличивается и достигает 45 %, при этом их ПП составляет 33 %. Доля опушечных видов и их ПП сокращается, что свидетельствует об изменении характера растительного покрова.

Несмотря на высокий уровень освещенности, наблюдается увеличение доли *Picea abies* в подросте до 18 %. Это может свидетельствовать о некоторой адаптации молодых деревьев к новым условиям, а также о способности взрослых особей и подроста *Populus tremula* притенять *Picea abies*. Вместе с тем, появление *Alnus incana* (L.) Moench в подросте может быть индикатором начинающегося процесса заболачивания. Подлесок становится ещё более разнообразным. Среди редких и нуждающихся в биологическом контроле растений отмечены следующие виды: *Carex vulpina* L., *Convallaria majalis*, *Hepatica nobilis*, *Lycopodium clavatum*, *Neckera pennata* и *Silene nutans* L. Для вырубок давностью 5 лет отмечается широкий размах значений освещенности – от 5,3 до 7,2 балла. Влажность почв по шкале Элленберга колеблется в диапазоне от 5,3 до 6,3 балла. Среднее значение по шкале азотного богатства составляет 5 баллов. Кислотность почвы продолжает варьировать – от 3,5 до 6.

На вырубках давностью 10 лет наблюдаются первые признаки восстановления таежного сообщества. Выявлено 48 видов в ТКЯ. В составе тра-

востоя наблюдается увеличение доли болотных видов до 12 %, что коррелирует с их ПП (39 %). Доля проективного покрытия луговых видов значительно снижается (до 8 %). Однако число луговых видов по-прежнему велико (42 %), хотя их ПП значительно ниже, чем у остальных экологических групп.

На данных площадках доля *Picea abies* в подросте остается 18 %. Также происходит активное появление *Alnus incana*, что подтверждает тенденцию к заболачиванию территории. Видовой состав подлеска сохраняет своё разнообразие. Тенденция к увеличению уровня влажности почв сохраняется, достигая значений 7,2 балла. Уровень азота в почве остаётся повышенным, а кислотность почвы продолжает варьировать в широком диапазоне. Среди редких и нуждающихся в биологическом контроле растений отмечены *Carex vulpina*, *Lycopodium clavatum*, *Neckera pennata* и *Rubus arcticus* L.

Закключение: В ходе послерубочной сукцессии растительности на месте ельника черничного только в первый год после рубки разрастаются неморальные и неморально-бореальные травы. Разнообразие луговых видов резко возрастает уже на свежих вырубках, а их участие в проективном покрытии увеличивается к пятому году, болотные виды появляются на пятилетних вырубках и становятся обильными на 10-летних вырубках.

В первые годы после рубки доминирующим видом в подросте является *Populus tremula*. Однако к десятому году наблюдается рост численности подраста других пород, включая *Picea abies*, что свидетельствует о восстановлении экосистемы в более длительной перспективе. На вырубках давностью 3–10 лет происходит увеличение рН и концентрации оснований и азота по сравнению с исходным лесом. Влажность почвы начинает возрастать после пятого года, и к десятому году на вырубках проявляются процессы заболачивания.

Список литературы

1. Миркин Б. М. Блок-метод выделения растительных ассоциаций // Методы выделения растительных ассоциаций. Ленинград: Наука, 1971. С. 141–181.
2. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Göttingen: Goltze, 1974. 97 p.

Влияние солей тяжелых металлов на развитие проростков *Rumex aquaticus* L.

И. А. Харева, Н. А. Пакляшова

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
napakliashova@chsu.ru

Аннотация. Проведено сравнение влияния ацетата меди и ацетата никеля на начальные этапы онтогенеза проростков щавеля водного (*Rumex aquaticus* L.). Определены всхожесть семян, морфометрические показатели проростков. Установлено, что семена, собранные в условиях повышенной степени антропогенной нагрузки более устойчивы к действию тяжелых металлов, чем семена, собранные в условиях с минимальной степенью антропогенной нагрузки. Отмечено, что семена щавеля стабильнее к воздействию поллютантов, чем морфологические органы растения, и могут прорасти при высоких концентрациях, но при этом развития здорового проростка не происходит. Показано, что более чувствительным к токсикантам является главный корень, чем надземные органы. Ацетат никеля более токсичен для проростков щавеля, чем ацетат меди.

Ключевые слова: ацетат никеля, ацетат меди, рост

Abstract. The effect of copper acetate and nickel acetate on the initial stages of ontogenesis of seedlings of water sorrel (*Rumex aquaticus* L.) was compared. Seed germination and morphometric parameters of seedlings were determined. It has been established that seeds collected under conditions of an increased degree of anthropogenic load are more resistant to the action of heavy metals than seeds collected under conditions with a minimum degree of anthropogenic load. It is noted that sorrel seeds are more stable to the effects of pollutants than the morphological organs of the plant, and can germinate at high concentrations, but at the same time the development of a healthy seedling does not occur. It is shown that the main root is more sensitive to toxicants than the aboveground organs. Nickel acetate is more toxic to sorrel seedlings than copper acetate.

Keywords: nickel acetate, copper acetate, growth

Загрязнение экосистем тяжелыми металлами (ТМ) является одной из глобальных проблем. По данным 2021 года в водах Рыбинского водохранилища обнаружено превышение ПДК по содержанию меди, железа, марганца и других веществ [3]. Поэтому, существует потребность в исследо-

вании действия ТМ на прибрежно-водную флору, так как высокая погло- тительная способность растений, делает их идеальными тестовыми объек- тами для количественного и качественного определения антропогенного химического воздействия на экосистему. Практической значимостью ис- следования является осуществление поиска недорогих и доступных мето- дов оценки состояния окружающей среды. Исследования позволяют про- гнозировать изменение растений в условиях антропогенного загрязнения.

Медь – эссенциальный элемент, являющийся кофактором таких фер- ментов, как супероксиддисмутаза и лактаза, входящий в состав важнейших функциональных белков, например, пластоцианина. Вместе с тем, в избы- точных концентрациях в среде ионы меди оказывают негативное действие на растения, занимая одно из первых мест по токсичности среди тяжелых металлов [1].

Никель – необходимый элемент минерального питания растения. Эле- мент включен в состав фермента уреазы, который расщепляет мочевины, активирует работу некоторых важных ферментов, регулирует работу ри- босом, а также поступление и транспорт питательных веществ в растение. Избыток металла приводит к угнетению развития, снижается интенсив- ность фотосинтеза, возможно проявление хлороза и некроза надземной части растений, замедляется рост главного корня, следовательно, замедля- ется поступление воды и минеральных веществ в растение.

В качестве объекта исследования был выбран гигрогеллофит щавель водный *Rumex aquaticus* L., собранный в двух зонах с разной антропоген- ной нагрузкой: окрестности д. Киргоды (условно зона с минимальной сте- пенью антропогенной нагрузки) и промышленная зона г. Череповца (условно зона с высокой степенью антропогенной нагрузки). Начальные этапы развития растений являются наиболее уязвимым периодом в их жизни, поэтому изучение влияния различных концентраций ацетата меди и ацетата никеля на ранних этапах развития растений, и выяснение меха- низмов адаптации растений к экстремальным условиям среды является актуальной темой исследования.

Цель исследования – изучение влияния различных концентраций аце- тата меди и ацетата никеля на начальные этапы онтогенеза щавеля водно- го *Rumex aquaticus* L.

Эксперимент проводили на базе лабораторий кафедры биологии ЧГУ. Семена щавеля проращивали в чашках Петрина фильтровальной бумаге, смоченной раствором ацетата меди ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, в объеме 15 мл) и ацетата никеля ($\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, в объеме 15 мл) в разных концен- трациях (1, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 500 мг иона металла/л (далее мг/л)). В каждую чашку помещали по 50 семян. Семена проращивали в

люминостате при температуре 20–25 °С. Продолжительность эксперимента составила 14 суток, на протяжении которых учитывались показатели прорастания (лаг-время, энергия прорастания, период прорастания и лабораторная всхожесть). На 2–3 сутки определяли всхожесть семян, на 14 сутки – морфологические показатели проростков.

Статистическую обработку данных производили в программе Excel. Данные представлены в виде средних значений и их ошибок. Достоверность различий величин оценивали по критерию Стьюдента, достоверными считались только данные с уровнем значимости 0,05. Для определения корреляции использовали коэффициент корреляции Пирсона.

Полученные данные показателя лаг-время свидетельствуют о нормальном дозревании семян и их способности к прорастанию под влиянием исследуемых токсикантов. Череповецкие семена прорастают быстрее, чем семена, собранные в окрестностях деревни Киргоды. Общим для серии опытов является отсутствие проросших семян в самой высокой концентрации растворов (500 мг/л), что может говорить о полной потере способности семян к прорастанию в данной концентрации. Энергия прорастания у «череповецких» семян значительно выше и превышает даже 90 % в самой малой концентрации ацетата меди. Значительной разницы между действием ацетата меди и ацетата никеля не наблюдается. Период прорастания «череповецких» семян под воздействием ацетата меди меньше, периода прорастания семян, собранных в условно чистой зоне. Высокие концентрации ацетата меди тормозят начальный этап прорастания семян. В ходе исследования установлено, что длительное воздействие низких концентраций (1, 10 мг/л), сопоставимо с действием высоких (150, 200 мг/л).

Максимальное число лабораторной всхожести зафиксировано при влиянии самой низкой концентрации ацетата меди для семян, собранных в обеих зонах, что свидетельствует о стимулирующем действии малых концентраций металла, как одного из основных элементов минерального питания растений. Всхожесть семян под воздействием ацетата никеля снижается постепенно, начиная с самой низкой концентрации. Количество проросших семян, собранных в зоне с наибольшей степенью антропогенной нагрузки, значительно превышает количество проросших семян, собранных на территории д. Киргоды. Следовательно, мы можем говорить о наличии у семян из промышленной зоны адаптивных механизмов защиты от воздействия токсикантов. Ацетат никеля проявляет свои токсичные свойства в большей степени, чем ацетат меди.

Вегетативные органы растений менее устойчивы к воздействию ТМ, чем семена. Малое увеличение концентрации ТМ стимулирует рост главного корня, способствует формированию компактной корневой системы,

за счет снижения протяженности зон главного корня, что свидетельствует об адаптивных изменениях в стратегии выживания под действием токсикантов изучаемых проростков [2]. С концентрации 10 мг/л главный корень находится в угнетенном состоянии и подвергается некротическим явлениям. В растворе меди показатель резко снижается до $4,97 \pm 0,28$ мм; в растворе ацетата никеля – до $8,30 \pm 0,87$ мм. С повышением концентрации токсиканта уменьшается длина и количество боковых корней, образуются придаточные корни. Так растение пытается уменьшить и распределить дозу потребления ТМ по всем органам.

Наиболее сильное токсическое действие на развитие подземных органов проростков наблюдали в растворах ацетата никеля. В растворах с концентрацией 50 мг/л длина главного корня составила 0,15 мм. В концентрации 100 мг/л ацетата никеля наблюдали, незначительное выступление главного корня из оболочек семени. Медь в нелетальных концентрациях ингибирует рост корня, но не останавливает его ветвление. Поэтому развитие корня у проростков, которые находились в растворе ацетата никеля останавливается быстрее 25 мг/л, в отличие от проростков из раствора ацетата меди (150 и 200 мг/л).

Нормальное развитие надземной части проростков щавеля водного (надземные органы без каких-либо повреждений и нарушений в окраске) наблюдали лишь в самой низкой концентрации ацетата меди (1 мг/л). Длина гипокотилия проростков из обеих зон значительно не отличается друг от друга. Под воздействием ацетата меди на проростки из экологически чистой зоны, отмечено достоверное увеличение показателя, что говорит о стимулирующем эффекте токсиканта в концентрации (1-100 мг/л). Соли ацетата никеля более токсичны для проростков щавеля: с повышением концентрации рост гипокотилия снижался и прекратился в растворах с концентрацией 100 мг/л и выше.

Таким образом, семена щавеля водного способны к прорастанию под влиянием ацетата меди и ацетата никеля во всех концентрациях кроме самой высокой (500 мг/л). Концентрации растворов ацетата меди (1,10 мг/л) стимулируют семена к прорастанию. Пороговая концентрация семян в растворах ацетата меди и ацетата никеля – 100 мг/л и 50 мг/л соответственно. Токсическое действие ацетата меди проявляется в диапазоне 150–500 мг/л, ацетата никеля – начиная с концентрации 10 мг/л. Для семян выявлены прямые, обратные зависимости, между концентрацией растворов ТМ и показателями: энергия прорастания, период прорастания и лабораторная всхожесть.

Нормальное развитие проростков отмечено только в растворе с концентрацией ацетата меди и ацетата никеля 1 мг/л. Повышенные концентрация

ТМ (100–250 мг/л) угнетающе действует на побеговую систему проростков. Корневая система более подвержена действию ТМ. Уменьшение длины главного корня проростков начинается с концентрации ацетата меди и ацетата никеля 10 мг/л. С увеличением концентрации солей меди происходит сокращение количества боковых корней и увеличение придаточных корней. Ацетат никеля действует более губительно для развития морфологических органов, чем ацетат меди.

Список литературы

1. Алобайди Х. Х, Башмакова Е. Б., Холодова В. П. Сравнительный анализ устойчивости растений рода Brassica на начальные этапы онтогенеза к избытку меди // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 4 (16). С. 92–95.
2. Амосова А. А. Эколого-генетическая оценка влияния солей тяжелых металлов на лук репчатый в условиях модифицирующего эффекта активного ила: автореф. дис.... канд. биол. наук. Самара. 2004. 15 с.
3. Сухарева Е. Д. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2021 году. Вологда: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области, 2022. 55 с.

УДК 59. 087:599. 426

Опыт применения поправочных коэффициентов слышимости эхолокационных сигналов рукокрылых (Chiroptera) в Дарвинском заповеднике

О. А. Шапкин, М. В. Бабушкин

Дарвинский государственный природный биосферный заповедник,
Череповец, Россия
oshpkn@gmail.com

Аннотация. Важной особенностью акустических исследований рукокрылых является применение поправочных коэффициентов, нивелирующих влияние дистанции, на которой микрофон детектора способен уловить эхолокационные сигналы рукокрылых. Нами предпринята попытка практического применения поправочных коэффициентов в оценке относительного обилия и численности рукокрылых в Дарвинском заповеднике. Так, акустический метод без применения поправочных коэффициентов склонен переучитывать виды,

обладающие громкими сигналами (*Nyctalus noctula*, *N. leisleri*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii*), и наоборот недоучитывать виды с тихими сигналами (р. *Myotis*, р. *Plecotus*), а также значительно влиять на относительное обилие и численность рукокрылых.

Ключевые слова: рукокрылые, активность, эхолокация, акустический мониторинг, поправочные коэффициенты

Abstract. An important feature of acoustic studies of bats is the use of correction factors that offset the influence of the distance at which the detector microphone is able to pick up echolocation signals of bats. We have attempted to apply correction factors in the assessment of relative abundance and numbers of bats in the Darwin Reserve. Thus, the acoustic method without the use of correction factors tends to overestimate species with loud signals (*Nyctalus noctula*, *N. leisleri*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssonii*) and conversely underestimate species with quiet signals (р. *Myotis*, р. *Plecotus*), as well as to significantly affect relative abundance and abundance of bats.

Keywords: bats, activity, echolocation, acoustic monitoring, correction factors

Рукокрылые – сложная для изучения группа животных в виду их скрытого образа жизни и ночной активности. Стоит отметить, что традиционный метод изучения летучих мышей в виде отлова паутиными сетями может быть трудоемок и требует достаточное количество времени для полного изучения населения рукокрылых конкретной территории и тем более трудоемок для проведения более глубоких экологических исследований. Однако, за последние 20 лет широко распространились новые методы изучения рукокрылых, в частности благодаря появлению различных ультразвуковых детекторов, позволяющих записывать эхолокационные сигналы рукокрылых и с помощью специальных программ определять видовую принадлежность этих сигналов. Акустический метод является мощным и быстрым способом первичной оценки биологического разнообразия конкретной территории. К тому же акустические исследования сами по себе или в совокупности с отловом рукокрылых паутиными сетями могут быть хорошим способом проведения различных экологических исследований.

Важной особенностью любых акустических исследований рукокрылых является применение поправочных коэффициентов, нивелирующих влияние дистанции, на которой микрофон детектора способен уловить сигналы разных видов рукокрылых. Так, существуют виды, обладающие мощными сигналами (например, вечерницы), а также виды сигналы которых очень тихие, частотно-модулированные, с помощью которых они сканируют по-

верхность воды или крон деревьев (ушаны, ночницы). Подобные коэффициенты опубликованы в работе Мишеля Барато [1] и стоит отметить, что они будут различаться у каждого вида, когда тот летает в открытых и полукрытых пространствах или в закрытых пространствах (в подлеске): *Eptesicus nilssonii* – 0,5 (0,5), *Myotis brandtii* – 2,5 (5), *Myotis dasycneme** – 1,67 (2,5), *Myotis daubentonii* – 1,67 (2,5), *Nyctalus noctula* – 0,25 (0,25), *Nyctalus leisleri* – 0,31 (0,31), *Plecotus auritus* – 1,25 (5), *Plecotus nathusii* – 1 (1), *Vespertilio murinus* – 0,5 (0,5). При этом, информация по *M. dasycneme* отсутствует и коэффициент принят равным *M. daubentonii*, как близкого вида по акустическим характеристикам сигналов [4]. Однако стоит отметить, что все еще не опубликовано достаточное количество работ, позволяющих заключить универсальность применения этих коэффициентов и полноту разработанности данной методики. Нами предпринята попытка практического применения указанных коэффициентов в оценке относительного обилия и численности рукокрылых в Дарвинском заповеднике.

Для выявления относительной численности рукокрылых был использован метод маршрутного акустического мониторинга. В 2021 году в июле-августе в Дарвинском заповеднике и его окрестностях проведены маршрутные учеты, общей протяженностью 28 км. Учеты проводились на автомобиле на участке дороги Пленишник – Раменье (скорость около 40 км/ч), на участке дороги кордон Вауч – Борок – Мшичинский залив (со скоростью около 15-20 км/ч). Водные лодочные маршрутные учеты проведены на реках Заблудашка и Шуйга со скоростью около 4–5 км/ч. Для записей звуков рукокрылых использовался детектор Batlogger M (Elekon AG, Швейцария). В ходе работы детектор автоматически фиксирует GPS-координаты для каждой записи. Записи рукокрылых анализировались в программе BatExplorer v.2.1.10.1.

Все записи классифицированы по видовой принадлежности вручную для повышения степени надежности. Для идентификации сигналов летучих мышей использовались известные руководства [1, 3, 4]. Для оценки объективности определения видовой принадлежности записей рукокрылых использовался способ межэкспертной оценки на основе коэффициента Каппа Коэна [2]. Был создан случайный набор из 100 записей сигналов рукокрылых на маршрутных учетах и проанализирован каждым из авторов, а затем результаты сравнивались методом каппа-статистики. В результате количество наблюдаемых совпадений составило 70 %, а количество случайных совпадений: 12,9 %. Коэффициент Каппа = 0,655 (SE = 0,051) Полученное значение уверенно можно отнести к категории существенного согласия.

В ходе маршрутах учетов в 2021 году были получены данные об относительной численности рукокрылых на маршрутах. При этом участки маршрутов были разделены на 2 зоны, проходящие по лесу (закрытые пространства) и по открытым пространствам (дороги, мосты, водоемы, поселки). Исходя из этого рассчитывалась относительная численность рукокрылых с учетом указанных поправочных коэффициентов для открытых и закрытых пространств, путем простого умножения числа сигналов конкретного вида на коэффициент «обнаруживаемости» (поправочный коэффициент).

В среднем численность рукокрылых в Дарвинском заповеднике составила 7,5 особей на километр маршрута. При этом среди общего числа зарегистрированных ультразвуковых сигналов часть приходилась на *E. nilssonii* – 8,2 %, *M. brandtii* – 3,8 %, *M. dasycneme* – 18,3 %, *M. daubentonii* – 24 %, *N. noctula* – 16,8 %, *N. leisleri* – 1,9 %, *P. auritus* – 1,4 %, *P. nathusii* – 13,5 %, *V. murinus* – 12 %. После корректировки данных с использованием поправочных коэффициентов относительная численность рукокрылых составила 8,5 особей на километр маршрута. Распределение видовой принадлежности сигналов оказалось следующим: *E. nilssonii* – 3,6 %, *M. brandtii* – 8,5 %, *M. dasycneme* – 28,1 %, *M. daubentonii* – 36,6 %, *N. noctula* – 3,7 %, *N. leisleri* – 0,5 %, *P. auritus* – 1,6 %, *P. nathusii* – 12 %, *V. murinus* – 5,3 %.

Таким образом акустический метод без применения поправочных коэффициентов склонен переучитывать виды, обладающие громкими сигналами (*N. noctula*, *N. leisleri*, *V. murinus*, *E. nilssonii*), и наоборот недоучитывать виды с тихими сигналами (р. *Myotis*, р. *Plecotus*), в особенности *P. auritus* и *M. brandtii*. При этом очевидно, что подобные коэффициенты необходимо использовать для адекватного отображения результатов любых акустических учетов рукокрылых. Из-за способности микрофона детектора по-разному обнаруживать разные виды рукокрылых результаты без использования корректировки будут давать неадекватное отражение как относительно обилия и численности, так и общей активности рукокрылых. Отсутствие применения поправочных коэффициентов возможно только при выявлении видового состава рукокрылых изучаемой территории.

Список литературы

1. Barataud M. Acoustic Ecology of European Bats. Species Identification, Study of their Habitats and Foraging Behavior // Biotope, Meze; Museum national d'Histoire naturelle. Paris (Inventaires et biodiversite series), 2015. 352 p.

2. Landis R. J., Koch G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data // *Biometrics*. 1977. Vol. 33 (1). P. 159–174.
3. Runkel V., Gerding G., Marckmann U. The Handbook of Acoustic Bat Detection // Pelagic Publishing. 2021. 208 p.
4. Russ J. et al. Bat Calls of Britain and Europe: A Guide to Species Identification / eds. J. Russ. Pelagic Publishing. 2021. 472 p.

УДК 582.284 (571.53)

Новые сведения об охраняемых и редких видах микобиоты Вологодской области

А. Г. Шиповалов, В. А. Кочина, С. А. Кирика

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия
agshipovalov@chsu.ru

Аннотация. Проведен обзор новых находок охраняемых и редких видов макромицетов и миксомицетов. Микологические исследования были выполнены на территориях Череповецкого, Бабаевского и Шекснинского районов. Приведены сведения для 31 вида микобиоты. Некоторые виды могут быть рекомендованы в новое издание Красной книги Вологодской области. Часть видов впервые указывается для Вологодской области.

Ключевые слова: макромицеты, миксомицеты, биоразнообразие, Красная книга

Abstract. A review of new findings of protected and rare species of macromycetes and myxomycetes was carried out. Mycological studies were carried out on the territories of Cherepovets, Babaevsky and Sheksninsky districts. Information is provided for 31 species of mycobiota. Some species may be recommended in the new edition of the Red Book of the Vologda region. Some species are indicated for the first time for the Vologda region.

Keywords: macromycetes, myxomycetes, biodiversity, Red Book

Биоразнообразие микобиоты Вологодской области изучено недостаточно. Сведения о произрастании множества видов отсутствуют. В связи с этим невозможно вовремя выявить инвазивные виды, а также обеспечить сохранность редких видов. Системные полевые исследования позволяют своевременно формировать информацию для обновления данных в последующих изданиях Красной книги региона. Вместе с природоохранными

задачами комплексно рассматриваются общие вопросы распространения грибов и формирования ценоотических связей.

Исследования проводились в трех районах Вологодской области: Череповецком, Шекснинском и Бабаевском, в период с июня по сентябрь 2023 г. Заложена 61 трансекта общей протяженностью 205 км. Сбор грибов проводился согласно общепринятой методике [1]. Учет грибов осуществлялся по методике В. А. Мухина [2]. Определение грибов проводилось на кафедре биологии, с использованием оборудования центра коллективного пользования Череповецкого государственного университета. Систематическое положение видов и название приведены в соответствии со сведениями электронной базы данных “IndexFungorum” [4]. Обобщены сведения о новых находках редких и охраняемых видов грибов. Для системной инвентаризации микобиоты приведены данные о видах, ранее не указанных для Вологодской области. Намерено не указываются точные данные о местонахождении грибов.

Охраняемые виды.

Cortinarius violaceus (L.) Gray 1821 (Паутинник фиолетовый). Обнаружен в окрестностях города Череповца. Гриб включен в Красную книгу региона [3]. Статус 3. Редкий вид.

Hericium coralloides (Scop.) Pers. 1794 (Ежовик коралловидный). Обнаружен в Бабаевском районе. Гриб включен в Красную книгу региона [3]. Статус 3. Редкий вид.

Редкие виды.

Mutinus ravenelii (Berk.) E. Fisch. 1888 (Мутинус Равенели). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Инвазивный вид. Был исключен из Красной книги Вологодской области, по причине отсутствия гербарного подтверждения произрастания на территории региона.

Albatrellus ovinus (Schaeff.) Kotl. & Pouzar 1957 (Трутовик овечий). Обнаружен в Бабаевском районе. Внесен в Красные книги Московской и Свердловской областей.

Climacodon septentrionalis (Fr.) P. Karst. 1881 (Климакадон северный). Обнаружен в г. Череповец. Внесен в Красные книги Свердловской и Тюменской областей и г. Москвы.

Spathularia flavida Pers. 1794 (Спатулярия желтая или булововидная). Обнаружен в Бабаевском районе. Внесен в Красную книгу республики Беларусь.

Volvarellia bombycina (Schaeff.) Singer 1951 (Вольвариелла шелкови-стая). Обнаружен в г. Череповец. Внесен в 5 региональных Красных книг, включен в красные списки (Red List) Венгрии, Германии (земля Рейнланд-

Пфальц), Дании, Латвии, Македонии, Польши, Словении, Швейцарии, Швеции и Черногории.

Виды, впервые указанные для Вологодской области.

Exobasidium japonicum Shirai (Экзобазидиум брусничный). Обнаружен в окрестностях города Череповца и Бабаевском районе. Фитопатоген. Встречается часто.

Humaria hemisphaerica (F. H. Wigg.) Fuckel (Гумария полушаровидная). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Сапротроф. Встречается часто.

Picipes badius (Pers.) Zmitr. & Kovalenko 2016 (Трутовик каштановый). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Единичная находка.

Crucibulum laeve (Huds.) Kambly 1936 (Бокальчик гладкий). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Единичная находка.

Hapalopilus rutilans (Pers.) Murrill 1904 (Гапалопилус красноватый). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Не редко.

Daedaleopsis septentrionalis (P. Karst.) Niemelä, 1982 (Дедалеопсис северный). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Не редко.

Phlebia radiata Fr. 1821 (Флебия радиальная). Обнаружен в г. Череповце и окрестностях. Ксилотроф. Редко.

Coprinopsis variegata (Peck) Redhead, Vilgalys & Moncalvo 2001 (Навозник пестрый). Обнаружен в г. Череповце. Сапротроф. Единичная находка.

Calocera cornea (Batsch) Fr. 1827 (Калоцера роговидная). Обнаружена в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Не редко.

Lycoperdon perlatum Pers. 1796 (Дождевик шиповатый). Обнаружен в Череповецком, Бабаевском и Шекснинском районах. Сапротроф. Очень часто.

Bolbitius titubans (Bull.) Fr. 1838 (Большитус золотистый). Обнаружен в окрестностях г. Череповца и пос. Шексна. Ксилотроф. Не часто.

Panellus mitis (Pers.) Singer 1936 (Панеллюс мягкий). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Не часто.

Tricholomopsis decora (Fr.) Singer 1939 (Рядовка украшенная или оливково – желтая). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Ксилотроф. Не часто.

Pluteus cervinus (Schaeff.) P. Kumm. 1871 (Плютей олений). Обнаружен в Череповецком и Бабаевском районе. Не редко.

Pluteus ephrebus (Fr.) Gillet 1876 (Плютей чешуйчатый). Обнаружен в Шекснинском районе. Ксилотроф. Редко.

Thelephora terrestris Ehrh. 1793 (Телефора наземная). Обнаружен в Череповецком и Бабаевском районах. Микоризообразователь. Не редко.

Cortinarius bolaris (Pers.) Zawadzki 1835 (Паутичник ленивый). Обнаружен в Бабаевском районе. Сапротроф. Не часто.

Gymnopilus penetrans (Fr.) Murrill 1912 (Гимнопил проникающий). Обнаружен в Череповецком и Бабаевском районе. Ксилотроф. Не часто.

Panus conchatus (Bull.) Fr. 1838 (Панус уховидный). Обнаружен в Шекснинском районе. Сапротроф. Единичная находка.

Leucoagaricus leucothites (Vittad.) Wasser 1977 (Белошампиньон румянящийся). Обнаружен в Шекснинском районе. Сапротроф. Единичная находка.

Neolentinus lepideus (Fr.) Redhead & Ginns 1985 (Пилолистник чешуйчатый). Обнаружен в Шекснинском районе. Ксилотроф. Не редко.

Ramaria flava (Schaeff.) Quél. 1888 (Рогатик желтый). Обнаружен в Бабаевском районе. Единичная находка.

Lactarius controversus Pers. 1800 (Груздь осиновый). Обнаружен в г. Череповце. Микоризообразователь. Не часто.

Tubifera Montana Leontyev, Schnittler & S. L. Stephenson 2015 (Тубифера горная). Обнаружен в окрестностях г. Череповца. Миксомицет. Единичная находка

Приоритет для включения в Красную книгу Вологодской области можно будет определить после полной инвентаризации микобиоты региона, с учетом частоты встречаемости. Следующим шагом представляется определение границ популяции охраняемых видов грибов.

Список литературы

1. Бондарцев А. С., Зингер Р. А. Руководство по сбору высших базидиальных грибов для научного изучения // Труды Ботанического института им. В. Л. Комарова. 1950. Сер. 2. Вып. 6. С. 499–543.

2. Мухин В. А. Биотаксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Наука, 1993. 479 с.

3. Постановление Правительства Вологодской области от 25 июля 2022 г. № 942 «Об утверждении перечня (списка) редких и исчезающих видов (внутривидовых таксонов) растений и грибов, занесенных в Красную книгу Вологодской области

4. Index Fungorum. URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 01.09.2023)

Сезонная динамика и пространственное распределение фитопланктона Рыбинского водохранилища

М. О. Щукина

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,
п. Борок, Россия,

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия,
a89217334226@yandex.ru

Аннотация. Исследованы особенности сезонной динамики и пространственного распределения показателей разнообразия, численности и биомассы фитопланктона Рыбинского водохранилища в период многоводной фазы в 2019 г. Максимального развития фитопланктон, как по численности ($13,7 \pm 4,6$ млнкл. /л), так и по биомассе ($8,0 \pm 2,1$ г/м³) достигал в весенний период. В последующий период суммарная численность и биомасса слабо варьировали: 4–6 млнкл. /л и 1–2 г/м³. Обычного для фитопланктона водохранилища летнего максимума, обусловленного активной вегетацией цианобактерий, не наблюдалось. Показатели уровня развития и разнообразия фитопланктона Главного и Волжского плесов достоверно не различались. Средние значения трофического индекса Милиус ($53,0 \pm 2,3$) и биомассы фитопланктона ($2,8 \pm 0,5$ г/м³) соответствовали водам мезотрофного типа.

Ключевые слова: фитопланктон, сезонная динамика, пространственное распределение, многоводная фаза, Рыбинское водохранилище, Верхняя Волга

Abstract. The features of seasonal dynamics and spatial distribution of indicators of diversity, abundance and biomass of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir during the high-water phase in 2019 were studied. Phytoplankton reached its maximum development both in terms of abundance ($13,7 \pm 4,6$ million cells/L) and biomass ($8,0 \pm 2,1$ g/m³) in the spring. In the subsequent period, the total abundance and biomass varied slightly: 4–6 million cells/L and 1–2 g/m³. The regular summer maximum of phytoplankton, due to the active vegetation of cyanobacteria, was not observed. Indicators of the level of development and diversity of phytoplankton in the Glavny and Volga reaches did not differ significantly. Average values of Miliustrophic index ($53,0 \pm 2,3$) and phytoplankton biomass ($2,8 \pm 0,5$ g/m³) corresponded to mesotrophic type waters.

Keywords: phytoplankton, seasonal dynamics, spatial distribution, high-water phase, Rybinsk reservoir, Upper Volga

Одной из фундаментальных задач водной экологии является изучение общих закономерностей формирования структурно-функциональной организации разнотипных водных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов [2, 4]. Сегодня в связи с увеличением численности населения, урбанизацией, интенсификацией промышленного производства и сельского хозяйства наблюдается значительное ухудшение качества внутриконтинентальных вод. Особую актуальность на сегодняшний день приобретает оценка и прогноз состояния искусственных достаточно неустойчивых водных экосистем – водохранилищ, фитопланктон которых в отличие от озер изначально детерминирован ходом аллогенной сукцессии. Планктонные водоросли, как первичнопродукты – одни из важнейших индикаторов состояния водоемов различного типа при оценке степени их загрязнения и трофии.

В этой связи возникает необходимость изучения структуры и динамики фитопланктона водоемов, которые подвержены влиянию как климатических, так и антропогенных факторов. Одним из объектов гидробиологических исследований в Европейской части Российской Федерации (РФ) является Рыбинское водохранилище, второе по величине в каскаде крупнейших в мире волжских водохранилищ. Цель настоящей работы: выявить закономерности сезонной динамики фитопланктона и его распределения по акватории Рыбинского водохранилища в период многоводной фазы водного режима.

Материалом работы послужили пробы, собранные с двухнедельным интервалом на 6 реперных станциях Рыбинского водохранилища в 2019 г., расположенных в русловом Волжском (Коприно, Молога) и в озерном Главном (Наволоки, Измайлово, Средний Двор, Брейтово) плесах.

Отбор проб воды осуществляли из столба воды 0 м – дно, затем их концентрировали методом прямой фильтрации при слабом давлении поочередно через мембранные фильтры с диаметром пор 3–5 мкм и 1,2–1,5 мкм, фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина, ледяной уксусной и хромовой кислот. Учет численности водорослей проводили в счетной камере «Учинская-2» объемом 0,02 мл. Для обеспечения статистической достоверности результатов в камере общее количество счетных единиц доводили до 400 или до 100 особей доминирующих видов. Биомассу определяли счетно-объемным методом [2].

В 2019 г. сезонная динамика средних по акватории водохранилища значений численности и биомассы в весенне-летний период практически

повторяли друг друга. Максимального развития фитопланктон, как по численности ($13,7 \pm 4,6$ млнкл. /л), так и по биомассе ($8,0 \pm 2,1$ г/м³) достигал в весенний период в начале мая, когда доминировали диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – *Stephanodiscuscf. minutulus* (Kützing) Cleve&Möller. На отдельных станциях из диатомовых также лидировала *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen и по численности *Chroomonas acuta* Uterm. В последующий период суммарная численность и биомасса слабо варьировали: $4,0 \pm 0,8$ кл. /л и $1,9 \pm 0,2$ г/м³, соответственно. С конца мая и до конца июня, в период «чистой воды», когда наблюдалось увеличение разнообразия и обилия криптофитовых водорослей, преобладали виды из родов *Cryptomonas* и *Chroomonas*. Летнего максимума, обусловленного развитием цианобактерий, обычного для сезонной динамики фитопланктона водохранилища в предшествующие годы, не наблюдалось. По численности в летний период доминировали из диатомовых *Stephanodiscuscf. minutulus*, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Fragilaria crotonensis* Kitton, *S. invisitatus* M. H. Hohn&Hellerman и *S. binderanus* Krieger, из цианобактерий – *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *Aphanizomenon flos-aquae* RalfsexBornet&Flahault., из криптофитовых – *Chroomonas acuta* и *Rhodomonaslens* Pascher&Ruttner. По биомассе лидировали из диатомовых водорослей *Stephanodiscuscf. minutulus*, *S. invisitatus*, *S. neoastrea* Håkansson&Nickel, *S. binderanus*, *Aulacoseira granulata*, *Cyatopleura-soleavar. apiculata* (W. Smith) Ralfs, из цианобактерий – *Microcystis aeruginosa*, из криптофитовых – *Cryptomonascf. Marssonii* Skuja.

Суммарные средние значения численности и биомассы в Главном ($5,0 \pm 2,3$ млн кл. /л и $2,7 \pm 1,1$ г/м³) и в Волжском плесах ($5,4 \pm 1,3$ млн кл./л и $2,9 \pm 0,8$ г/м³) практически не различались. Однако численность фитопланктона в центральной части водохранилища была выше, чем в русловой в 2 раза ($17,0$ и $8,0$ млнкл. /л соответственно). В летний период, наоборот, численность фитопланктона в Волжском плесе ($6,0 \pm 2,1$ млнкл./л) превышала в 3 раза таковую в Главном ($2,0 \pm 0,3$ млнкл. /л.).

По числу видов, разновидностей и форм водорослей наибольшим разнообразием отличался отдел диатомовых водорослей, который сосредотачивал в своем составе 39 % видовых и внутривидовых таксонов. Затем следовали зеленые (34 %), криптофитовые (10 %), цианобактерии (9 %), динофитовые (5 %) и золотистые (3 %). Единично отмечались желтозеленые водоросли. Эвгленовых водорослей отмечено не было. При этом в предшествующие годы последняя группа водорослей встречалась практически регулярно.

Общее удельное видовое богатство водорослей (число видов в одной пробе) изменялось достаточно в широких пределах – от 11 до 47 видов и

определялось в основном двумя группами водорослей – диатомовыми и зелеными. Их соотношение в течение всего вегетационного сезона слабо изменялось. Наибольшее видовое богатство фитопланктона отмечалось в июле, а наименьшее – в июне (в фазу «чистой воды»), когда наблюдался спад весеннего развития диатомей. В июне, в период «чистой воды», увеличивалась доля криптофитовых. В течение всего периода исследования средние значения удельного богатства фитопланктона в Волжском (32 ± 2) и Главном (28 ± 4) почти не различались.

Значение среднего по водоему индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанного по биомассе, составляло $2,3 \pm 0,2$, что не выходило за диапазон варьирования его величин в предшествующий период исследований (Корнева, 2010). Средние значения индекса в Главном ($2,0 \pm 0,3$) и в Волжском ($2,5 \pm 0,3$) плесах были близки.

По средневегетационным значениям индекса трофности Милиус [3], который составил $53,0 \pm 2,3$ и биомассы фитопланктона ($2,8 \pm 0,5$ г/м³) Рыбинское водохранилище в 2019 г. соответствовало водам мезотрофного типа [1]. Таким образом, сезонные исследования фитопланктона Рыбинского водохранилища в 2019 г., в период многоводной фазы гидрологического цикла водоема, в сезонной динамике его численности и биомассы преобладал весенний максимум, обусловленный развитием диатомовых водорослей из рода *Stephanodiscus*. Летний пик цианобактерий был не зарегистрирован. Фитопланктон речного (Волжского) и озерного (Главного) плесов по показателям обилия и разнообразия не различался. По величинам индекса трофности и биомассы фитопланктона водоем можно отнести к мезотрофному типу.

Список литературы

1. Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
2. Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
3. Милиус А., Стараст Х., Линдпере А. Индекс трофии малых озер по фосфатному фосфору // Известия академии наук Эстонской ССР. Биология. 1986. № 35. С. 72–74.
4. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Ленинград: Наука, 1990. 184 с.

Structural Foundation of Protein Translation in Plant Cells During Cold Acclimation

J. Smirnova¹, J. Loerke², R. Zoschke³, R. Bock⁴, Ch. Spahn⁵

^{1,2,5} Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin

^{3,4} Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology, Potsdam

Abstract. Translation is a fundamental process of protein synthesis catalyzed by the ribosomes in all living cells and organelles. In this study, we employed state-of-the-art advances in cryo-electron microscopy (cryo-EM) followed by incremental k-means hierarchical 3D sorting to observe the structural changes of ribosomes during translation within *Nicotiana tabacum* cells. Actively translating ribosomes were obtained by purifying polysomes, i.e. the ribosomes associated with an mRNA molecule during translation, from plant leaflets. This sample was utilized for high-resolution cryo-EM, and images of actively translating ribosomes were collected. By using 3D classification, from two plant cell compartments, cytosol and chloroplast, we resolved 11 and 8 ribosome states, respectively, that differ in their conformation and composition. These states represent intermediates during active translation, allowing us to animate translation elongation within tobacco cytosol and chloroplast. To gain a detailed understanding of these functional states, we obtained high-resolution structures of the most abundant translating intermediates for 70S and 80S ribosomes from the chloroplast and cytosol of tobacco, respectively, and built their atomic models. Using atomic models, we analyzed the molecular details of dynamics during translation elongation at near atomic resolution in both cell compartments. Furthermore, we demonstrated how subjecting plants to chilling stress reshapes the cellular translation energy landscapes.

Keywords: plant ribosomes, protein translation, cold acclimation, cryo-electron microscopy (cryo-EM)

Аннотация. Одним из важнейших этапов биосинтеза белка является трансляция, осуществляемая во всех живых клетках и органеллах с участием рибосом. Целью данной работы является исследование структурной вариативности растительных рибосом в процессе трансляции на примере *Nicotiana tabacum*. Исследование проводилось с помощью современных методов криоэлектронной микроскопии (крио-ЭМ) с последующей иерархической кластеризацией собранных данных методом восходящих k-средних. Рибосомы в стадии активной трансляции были

получены путем очистки полисом – комплексов, состоящих из нескольких рибосом, транслирующих одну молекулу мРНК. Этот образец был использован для крио-ЭМ высокого разрешения и изображения активно транслирующих рибосом были собраны. В процессе кластеризации рибосомы были разделены на два класса, соответствующих двум компартментам растительной клетки, цитозолю и хлоропластам. Внутри каждого класса были выделены 11 и 8 различных состояний рибосом, соответственно. Данные интермедиаты различаются по своей конформации и составу и являются переходными состояниями рибосомы во время активной трансляции. С их помощью была проведена визуализация процессов элонгации в различных компартментах клеток табака. Для интерпретации данных функциональных состояний были получены структуры доминирующих интермедиатов 70S рибосом из хлоропласта и 80S рибосомы из цитозоля с последующим построением их атомных моделей. При помощи данных моделей в обоих клеточных компартментах была проанализирована динамика рибосом во время элонгации с разрешением, близким к атомному. Кроме того, было продемонстрировано, что воздействие низких температур на растения приводит к изменениям энергетического профиля реакции элонгации.

Ключевые слова: рибосомы растений, трансляция белков, акклиматизация, криоэлектронная микроскопия (крио-ЭМ)

Introduction: In a cell, the process of protein synthesis (translation) consists of four phases: initiation, elongation, termination, and recycling, and involves the recruitment of ribosomes to a messenger RNA (mRNA). Ribosomes are composed of a small and a large subunits, which form binding sites for transfer RNAs (tRNAs) at their interface. Within the elongation phase of translation, the ribosome undergoes a cycle to incorporate one amino acid into the growing peptide chain. This cycle can be further divided into three key steps: mRNA decoding, peptidyl transfer, and translocation. While mRNA decoding and translocation steps require the GTPase activities of two elongation factors, EF-Tu and EF-G in prokaryotic, or eEF1 and eEF2 in eukaryotic cells, the central reaction of peptidyl transfer is conducted directly within the ribosome, making it a ribozyme. These three steps of elongation phase necessitate structural alterations within the ribosome, which include inter-subunit rotations, the association and dissociation of elongation factors, and the accommodation and release of tRNAs [1–3]. In plants, protein synthesis is realized by eukaryotic 80S ribosomes in the cytosol and 70S-type ribosomes of prokaryotic origin in chloroplasts and mitochondria. In all cellular compartments, active translation

occurs in chains of multiple ribosomes bound to a single mRNA molecule, forming a structure known as polysomes. A more complete understanding of the translation machinery and its regulation within plant cells is of a high importance, as the modulation of protein production in plants is critical for development, environmental plasticity, and biomass yield in diverse ecosystems and agricultural settings. This significance is particularly evident in the context of climate change, where the emergence of more rapid and pronounced alterations, for example in temperature, require swift and accurate responses from plant. The molecular mechanisms that underly these responses remain however relatively unexplored. While it has been demonstrated that protein translation rates in plants are proportional to temperature, little is known about the energy landscape and the rate-limiting reactions underlying protein translation during chilling stress in plants. In light of this knowledge gap, we conducted the temperature-shift experiment, followed by the multiparticle cryo-electron microscopy (cryo-EM) analysis [1] of the actively translating plant ribosomes from two compartments: cytosol and chloroplast.

Material and Methods: Wild type tobacco plants (*N. tabacum*) have been grown in a greenhouse under physiological conditions first at 24 °C for 19 days, and then they were subsequently transferred to a chilling stress (12 °C) for 2 days. As a control, plants were grown at 24 °C for 21 days. After cell lysis, the total extract was loaded onto a sucrose cushion to isolate polysomes and, subsequently, the sample containing a mixture of ribosomes in different physiological states from different cell compartments was used for high-resolution high-throughput transmission cryo-EM. The images were collected on a Titan Krios microscope equipped with a K3 direct electron detector. For each sample, approximately 15,000 images were recorded at a nominal magnification of 81,000x. First all the 2D ribosome images were aligned onto a single reference yielding a consensus 3D electron density map. Afterwards, the data was processed computationally by using incremental k-means hierarchical clustering yielding multiple classes of plant ribosomes in several physiologically relevant conformations [1, 4].

Results: To understand the impact of chilling stress on the energy landscape of translation reactions within plant cells, the structures of ribosomes from both the cytosol and chloroplasts of tobacco plant cells were solved in their native functional states. For this purpose, a protocol was established to isolate polysomes from freshly harvested tobacco leaves. Subsequently, this sample was utilized for high-resolution cryo-EM, and images of ribosomes engaged in polysomes were collected. The sample was anticipated to exhibit high heterogeneity, as it comprised a mixture of ribosomes from different cellular compartments and in various conformations. Therefore, a special 3D classification protocol

was employed for the subsequent data processing. The first tier of the hierarchical sorting identified two main populations of ribosomes in our leaf samples, 80S and 70S ribosomes, which were assigned to the cytosolic and chloroplast ribosome pools, respectively, accounting for ~70 % and 30 % of all ribosomal particles in our sample, respectively. Both ribosome pools were then separated computationally and processed independently [4]. Elongating ribosomes associated with an mRNA can adopt a variety of functional states and typically consist of a mixture of ribosomes with classical or rotated inter-subunit arrangements as well as tRNAs in different positions and states [1–3]. Therefore, further 3D classification was performed for each of two cell compartments. The hierarchical sorting process, extended to up to five tiers for some classes, resulted in the identification of several distinct ribosome species. These ribosomes were found to have bound ligands such as tRNA, mRNA, and growing peptide chains, representing different intermediates of the elongation cycle. In the cytosol 11 and in the chloroplast 8 distinct physiological states were observed. These states encompassed both classical and rotated pre-translocational (PRE) states, as well as post-translocational (POST) states, each with varying tRNA occupancy. Analyzing these states provided insights into the molecular details and dynamics of both inter- and intramolecular interactions within ribosomal complexes throughout the elongation cycle [1]. Additionally, the distribution of functional states (classical PRE, rotated PRE and POST) provided unprecedented insights into the energy landscape of the ribosomal elongation cycles in chloroplast and cytosol, and the rate-limiting steps close to the *in-vivo* situation. Our analysis revealed, that in the plant cytosol, ribosomes in the rotated PRE-state dominate, constituting together approximately 69 % of the translating ribosomes pool, while classical PRE-state ribosomes account for 22 % and the POST-state ribosomes account for only 9 %. Similarly, in the chloroplast, rotated PRE-state ribosomes make up around 63 % of the pool, with classical PRE- and POST-state ribosomes comprising 26 % and the remaining 18 %, respectively. Furthermore, we compared the distribution of functional states of the ribosomes from plants grown under standard conditions, with plants subjected to chilling stress, i.e. to 12 °C for 2 days. For this sample, 9 and 8 distinct physiological states were identified for the cytosol and chloroplast, respectively. However, the distribution of states was different. In the cytosol, the pool of ribosomes in classical PRE-states reduced drastically, constituting approximately 7 % of the total pool. In contrast, the pool of POST-state ribosomes increased by a factor of three, accounting for 30 %. Similarly, in the chloroplast, the proportion of POST-state ribosomes increased almost threefold to 45 %, while the pools of both classical and rotated PRE-state ribosomes reduced, making up around 17 % and 38 % of the total pool, respectively. This analysis demon-

strates that subjecting plants to cold stress has a profound impact on the translational energy landscape and specific steps of the ribosomal elongation cycle in both chloroplasts and cytosol.

Discussion: While we captured and resolved several intermediates during the elongation phase of translation by applying multiparticle cryo-EM analysis on the *ex-vivo* derived translating ribosomes, successfully reconstructing almost complete elongation cycles in both plant cytosol and chloroplast, some important translation intermediates, including transient complexes with bound elongation factors, have not been observed in our study. Interestingly, in the past several months, translational energy landscape analyses were reported for human and bacterial cells using a novel *in-situ* approach, which allows visualizing translational intermediates within their native cellular complexes. In both studies, ribosomal complexes were observed to have elongation factors Tu, G, F1, and F2 at a high proportion [2, 3]. This observation challenges the previous anticipation that these transient states are short-lived. It is possible therefore that, despite our carefully designed sample preparation protocol, the elongation factors dissociated from the ribosome, when cells were disrupted and complexes were withdrawn from their native environment. Nevertheless, our study reveals, that subjecting plants to the chilling stress impacts the translational landscape and specific steps of the ribosomal elongation cycle in both chloroplast and cytosol. For both plant cell compartments, the EF-Tu (eEF1) catalyzed accommodation of the aa-tRNA and mRNA decoding processes seem to be affected by the cold to a higher degree. To gain a deeper understanding of the molecular mechanisms underlying a plant's response to chilling stress at the molecular and energetic levels, our next steps will involve employing an *in-situ* approach.

List of literature

1. Behrmann, E. et al. Structural Snapshots of Actively Translating Human Ribosomes. *Cell* **161**, 845–857 (2015).
2. Xue, L. et al. Visualizing translation dynamics at atomic detail inside a bacterial cell. *Nature* **610**, 205–211 (2022).
3. Xing, H. et al. Translation dynamics in human cells visualized at high resolution reveal cancer drug action. *Science* **381**, 70–75 (2023).
4. Smirnova, J. et al. nature plants Structure of the actively translating plant 80S ribosome at 2.2 Å resolution. *Nat. Plants* **9**, 987–1000 (2023).

Научное издание

**Эволюционные и экологические
аспекты изучения живой материи**

*Материалы II Всероссийской научной конференции
с международным участием
(Череповец, 26–27 октября 2023 г.)*

Статьи печатаются в авторской редакции
Ответственный редактор *В. В. Петрова*
Ведущий технический редактор *М. Н. Авдюхова*
Макет обложки: *А. Н. Кострубин*
Лицензия А № 165724 от 11.04.06 г.

Подписано к печати 20.10.2023. Тир. 100 (1-й з-д 22).
Уч.-изд. л. 11,0. Усл. печ. л. 12,0. Формат 70 × 100¹/₁₆.
Гарнитура Таймс. Зак.

Череповецкий государственный университет
162600, г. Череповец, пр. Луначарского, д. 5



Закономерности формирования биоразнообразия во времени и пространстве

Kolomiytsev N., Poddubnaya N.
Temporal and spatial variability of
environments drive the patterns of species
richness along latitudinal, elevational and
depth gradients // **Biological
Communications**. 2018. V. 63 (3).
P. 189-201.