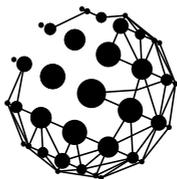


Институт экологии растений и животных УрО РАН

**ЭКОЛОГИЯ:
ФАКТЫ, ГИПОТЕЗЫ, МОДЕЛИ**

Материалы конференции молодых ученых,
12–15 апреля 2021 г.



Екатеринбург

2021

УДК 574 (061.3)

Э 40

ИЭРиЖ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ



**Совет молодых
учёных ИЭРиЖ**

Экология: факты, гипотезы, модели. Материалы конф. молодых
Э 40 ученых, 12–15 апреля 2021 г. / ИЭРиЖ УрО РАН — Екатеринбург:
ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2021. — 206 с.

В сборнике опубликованы материалы юбилейной Всероссийской конференции молодых ученых «Экология: факты, гипотезы, модели», посвященной 60-летию Молодежной конференции ИЭРиЖ УрО РАН и Году науки и технологий в России, прошедшей в г. Екатеринбурге в апреле 2021 г. Впервые работы участников конференции молодых ученых были представлены очно и дистанционно в форме устных докладов и oral-poster. В очередной раз состоялся традиционный конкурс докладов, членами комиссии было отмечено высокое качество докладов юбилейной конференции. Исследования молодых ученых посвящены проблемам изучения биологического разнообразия на популяционном, видовом и экосистемном уровнях, анализу экологических закономерностей эволюции, поиску механизмов адаптации биологических систем к экстремальным условиям, а также популяционным аспектам экофизиологии, радиобиологии и радиоэкологии, часть докладов носили прикладной характер.

В оформлении обложки использованы фотографии победителя фотоконкурса конференции Майоровой Е.Ю.

ISBN 978-5-907502-26-0



9 785907 502260

© Авторы, 2021
© ИЭРиЖ УрО РАН, 2021
© ООО Универсальная Типография
«Альфа Принт», 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ

На базе Института экологии растений и животных УрО РАН 12–15 апреля 2021 г. состоялась юбилейная Всероссийская конференция молодых ученых, студентов и аспирантов «Экология: факты, гипотезы, модели». В этом году мероприятие посвящено 60-летию Молодежной конференции ИЭРиЖ УрО РАН и проведено в рамках Года науки и технологий в России. Начало конференции, как и первой Молодежной конференции, прошедшей 60 лет назад состоялось 12 апреля. 60 лет назад. Первое заседание конференции совпало с полетом Юрия Алексеевича Гагарина в космос, эта новость поступила директору института С.С. Шварцу прямо во время проведения докладов.

В 2021 г. в качестве докладчиков и слушателей в конференции приняли участие 70 молодых ученых: студентов (22), аспирантов (9), научных сотрудников (12), работников научных и учебных организаций (26) и школьников (1). 34 устных и 34 стендовых доклада были представлены учащимися и сотрудниками 33 образовательных и научных организаций России и Казахстана. Больше всего докладов было традиционно представлено в секции «Структура и динамика популяций, видов, биоценозов». В секции «Экология нарушенных территорий» были особо отмечены два доклада, основанные на результатах, имеющих большое практическое значение. Доклады и лекции в 2021 г. проводили в очном и дистанционном формате. Дистанционное участие позволило расширить географию участников конференции. В этом году впервые участниками стали молодые ученые из Владивостока. Дистанционно были также представлены 2 пленарные лекции от ведущих ученых, очное участие которых организовать непросто. Пленарные и научно-популярная лекции были подготовлены приглашенными лекторами и сотрудниками ИЭРиЖ УрО РАН: д.б.н. В.И. Харуком (ИЛ СО РАН, Красноярск) «Таежные пожары Сибири»; к.б.н. А.А. Соколовым (АНИС ИЭРиЖ УрО РАН, Лабитнанги) «Динамика арктических экосистем: исследования на Ямале»; д.б.н. Д.Г. Замолотчиковым (ЦЭПЛ РАН, Москва) «Актуальные проблемы лесного хозяйства и землепользования в России в связи с Парижским соглашением»; д.б.н. П.А. Моисеевым, (ИЭРиЖ УрО РАН, Екатеринбург) «Современные ГИС технологии на «службе» лесной экологии», к.б.н. Н.О. Садыковой (МИЕ, Екатеринбург) «Citizen science и городское биоразнообразие».

Молодые исследователи получили возможность представить свои работы широкому кругу специалистов в разных областях науки, получили ценные рекомендации от опытных коллег и были вовлечены в научные дискуссии по обсуждению докладов начинающих и опытных ученых.

В 2021 г. в пятый раз состоялся фотоконкурс для участников Конференции, , до этого года неизменно проводимый энтузиастом своего дела и прекрасным фотографом А.М. Госьковым. На конкурс было подано 28 работ от 8 авторов. Победителей определяли в трех номинациях: «Место исследования», «Метод исследования» и «Объект исследования» и был присужден приз зрительских симпатий. Традиционно в зале главного корпуса ИЭРиЖ была организована фотовыставка работ финалистов конкурса.

В настоящем сборнике представлены результаты работ в области современного состояния и динамики растительного покрова и животного населения в условиях меняющегося климата, последствий внедрения инвазивных видов растений, палеозоологии, структурной ботаники, изучения генетического разнообразия и структуры видов, родов, популяций растений и животных, исследований, связанных с проверкой или модернизацией методов экологических наблюдений и оценкой состояния урбанизированных и нарушенных территорий, а также описывающих состав гербарных и растительных коллекций разных научных учреждений РАН.

С электронными версиями материалов молодежных конференций 1962–2019 гг. можно ознакомиться по ссылке https://ipae.uran.ru/library/publications_pdf/proceedings/youth_conference_in_ipae.

Редколлегия

Сосудистые растения в гербарном фонде Тобольской комплексной научной станции

В.Р. Аллаярова

Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, г. Тобольск

Ключевые слова: гербарий, охраняемые виды, сосудистые растения, Красная книга

Гербарный фонд Тобольской комплексной научной станции УрО РАН начал формировать профессор Н.Г. Ильминских в 2012 г. В настоящее время гербарий насчитывает около 10 тыс. образцов, из которых более 5000 образцов сосудистых растений занесено в компьютерную базу данных «Гербарий ТКНС УрО РАН», сформированную в программной среде Microsoft Access и входящую в Центр коллективного пользования «Биологические коллекции ТКНС УрО РАН». Основными коллекторами являются Н.Г. Ильминских, Б.С. Харитонцев, О.А. Капитонова, В.Р. Аллаярова. По объёму хранящегося материала в гербарном фонде в наибольшей степени представлены семейства Asteraceae (573 образца), Poaceae (502), Cyperaceae (457), Rosaceae (452), Scrophulariaceae (254), Caryophyllaceae (227), Fabaceae (208 образцов).

Значительный объём гербарной коллекции составляют сборы сосудистых растений, подлежащих охране на территории Тюменской области (Арефьев и др., 2004; Якушев, 2017). По объёму хранящегося материала по охраняемым видам лидируют Poaceae, представленные 82 образцами 9 охраняемых видов. Много представителей Orchidaceae (73 образца), Asteraceae (49), Fabaceae (34), Scrophulariaceae (32), Rosaceae (18), Ranunculaceae (16). К другим семействам относятся 275 гербарных образцов 53 видов из 45 родов и 32 семейств. Из 140 видов сосудистых растений, подлежащих охране на территории Тюменской области (Якушев, 2017) в гербарии ТКНС УрО РАН представлены 106 видов – 484 гербарных образца, что составляет около 10% от объёма гербарного фонда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арефьев С.П., Воронова О.Г., Гашев С.Н.* и др. Красная книга Тюменской области: Животные, растения, грибы. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2004. 496 с.
- Якушев В.В.* О перечне видов, подлежащих занесению в Красную книгу Тюменской области: постановление Администрации Тюменской области № 67-пк от 04.04.2005 (в редакции постановления Правительства Тюменской области № 590-п от 29.11.2017). URL: <https://docs.cntd.ru/document/906604509> (дата обращения: 27.09.2019).

Распространение *Brasenia schreberi* (Cabombaceae) в Приморском крае

А.С. Бердасова

Ботанический сад-институт ДВО РАН, г. Владивосток

Ключевые слова: бразения Шребера, редкие виды, водные растения, мониторинг

Brasenia schreberi J.F. Gmel. – реликтовое растение, произрастающее в неглубоких пресных водоёмах тропических и умеренных широт. В настоящее время вид находится под угрозой исчезновения. В России бразения Шребера занесена в Красную книгу Российской Федерации, а также в красные книги тех регионов, где она произрастает: Приморского и Хабаровского краёв, Амурской, Иркутской и Еврейской автономных областей (Крюкова, 2008; Пшенникова, 2008; Крюкова, 2019; Мельникова, 2019; Болотова и др., 2020; Чепинога, 2020). В этих регионах проходит северная граница ареала вида в Евразии (Крюкова, 2008).

Вид распространен очень спорадично, число известных местонахождений его сокращается быстрыми темпами в результате хозяйственной деятельности человека (Пшенникова, 2005). В России попытки культивирования бразении *ex situ* («в коллекциях») предпринимали сотрудники Ботанического сада-института г. Владивосток и Ботанического сада Иркутского государственного университета, однако, в настоящее время в коллекциях этих ботанических садов *B. schreberi* нет. Учитывая стремительное сокращение ареала бразении на территории Дальнего Востока, возникает необходимость анализа состояния численности и структуры популяций и разработки методики культивирования её *ex situ* и *in vitro* («в пробирке»).

Первым этапом этой работы является определение мест произрастания *B. schreberi* в Приморском крае. Основные **задачи:** 1) проанализировать гербарные сборы *B. schreberi*; 2) сопоставить данные гербариев с литературными материалами. Для анализа взяты гербарные сборы, хранящиеся в Московском государственном университете им. Ломоносова (MW), ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (VLA) и Ботаническом саду-институте (VBGI). Всего было найдено 45 гербарных образцов *B. schreberi*, собранных на территории России. Для Приморского края найдено 33 образца из 11 точек сбора. На данный момент подтверждены лишь три современные точки произрастания *B. schreberi*: озеро Ло-

тос (Хасанский район); озеро Заря (Лазовский природный заповедник имени Л.Г. Капланова); бухта Триозёрье (Партизанский район, окрестности поселка Врангель), что указывает на необходимость дальнейшего изучения популяций данного вида на территории края.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы НИР № АААА-А20-120042090002-0 «Интродукция и сохранение *ex situ* и *in vitro* генетических ресурсов растений Восточной Азии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болотова Я.Е., Парилова Т.А., Дарман Г.Ф. Бразения Шребера // Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2020. С. 218–219.
- Крюкова М.В. Бразения Шребера // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК, 2008. С. 151.
- Крюкова М.В. Бразения Шребера // Красная книга Еврейской автономной области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Биробиджан: Изд. дом «Биробиджан», 2019. С. 41.
- Мельникова А.Б. Бразения Шребера // Красная книга Хабаровского края: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений, грибов и животных. Воронеж: ООО «МИР», 2019. С. 99.
- Пшениčkова Л.М. Водные растения российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2005. 106 с.
- Пшениčkова Л.М. Бразения Шребера // Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов: официальное издание. Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. С. 96–98.
- Четинога В.В. Бразения Шребера // Красная книга Иркутской области. Улан-Удэ: Изд-во ПАО «Республиканская типография», 2020. С. 143.

Изменчивость реликтового вида *Caragana jubata* по данным хлоропластной ДНК

В.А. Бессонова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: Карагана гривастая, молекулярно-генетические маркеры, Тибетское плато, филогенетика

Общность Тибетско-Гималайской и Дальневосточных флор неоднократно отмечалась ботаниками как на видовом, так и на родовом уровнях (Duan et al., 2016). Карагана гривастая — *Caragana jubata* (Pall.) Poit. — яркий пример флористических связей между данными регионами. Это реликтовый вид неогенового периода, имеющий обширный, но дизъюнктивный ареал в Северной Евразии. Высокая плотность его находок отмечается в восточной части Тибетского нагорья, северо-восточных Гималаях, Тянь-Шане — эти районы считают центром происхождения вида. В Сибири вид распространен от Алтая до Алданского нагорья и в Хангае на юге. *C. jubata* занимает разнообразные местообитания с различными экологическими условиями (Чурюлина и др., 2020).

Широкое использование *C. jubata* в народной медицине Восточной Сибири и связанные с этим заготовки сырья ведут к истощению природных популяций. Вид занесен в региональные Красные книги во всех местах произрастания на территории РФ. Поэтому очень важно знать генетическую изменчивость данного вида (Чурюлина и др., 2020).

Представленная работа — первый этап по разработке молекулярно-генетических маркеров для изучения популяционной структуры вида. Знания о генетическом разнообразии популяций необходимы для реконструкции истории расселения вида, выявления генезиса Сибирской и Дальневосточной флор, а также разработки программ по сохранению биоразнообразия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Всего проанализировано 47 образцов: 29 особей из Тункинского района Бурятии (выборка «Байкал»), 16 из Ольского района Магаданской области (выборка «Магадан») и два с юго-востока Тибетского нагорья. Месторасположение выборок указано на рис. 1. Также из Genbank

были взяты соответствующие последовательности *C. jubata* китайского происхождения (MT 211963.1). *Caragana arborescens* из Genbank (MT 211962) использована в качестве внешней группы. С ДНК, выделенной из высушенных листьев, проведена амплификация с универсальными парами праймеров к межгенным спейсерам хлоропластной ДНК (Zhang et al., 2009). Всего проверено 16 фрагментов. Нуклеотидные последовательности определяли методом секвенирования по Сэнгеру с последующим выравниванием в программе BioEdit.

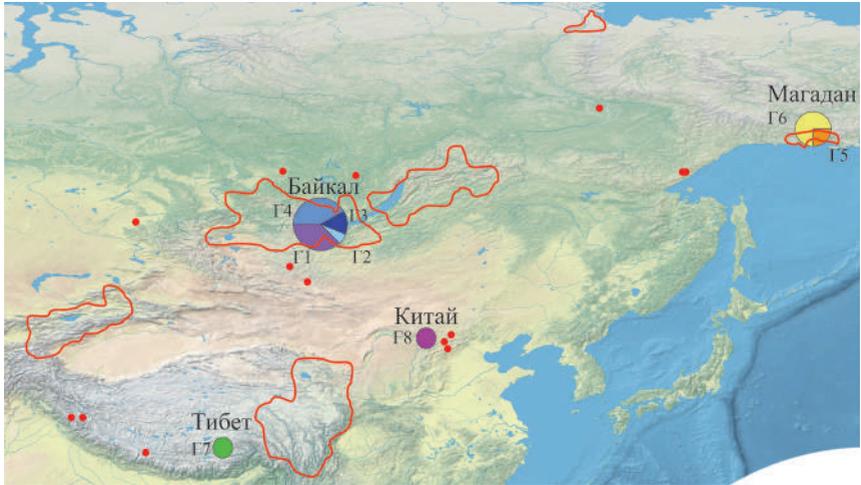


Рис. 1. Географическое расположение выборок и образцов из Genbank. Цвета на рисунке соответствуют гаплотипам на филогенетическом древе. Размер окружности отражает количество образцов в выборке. Величина секторов пропорциональна доле гаплотипов. Границы ареала *C. jubata* и одиночные популяции обозначены красным (на основе литературных данных).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выявлено два полиморфных маркера, *atpH-atpI* (Grivet et al., 2001) и участок *TabEF* (Taberlet et al., 1991) региона *trnT-trnL*. Сочетание изменчивости по ним выявило семь гаплотипов. Ещё один гаплотип у образца из Genbank. Выборку «Байкал» отличает повышенное разнообразие, здесь обнаружено четыре гаплотипа. В образцах из выборки «Магадан» – два гаплотипа. У тибетских образцов – один гаплотип. На основании полученных данных было построено филогенетическое дерево и сеть гаплотипов (рис. 2, рис. 3). Оказалось, что популяции «Байкал» и «Магадан» близки к Тибетской популяции, но при этом отличаются друг от друга.

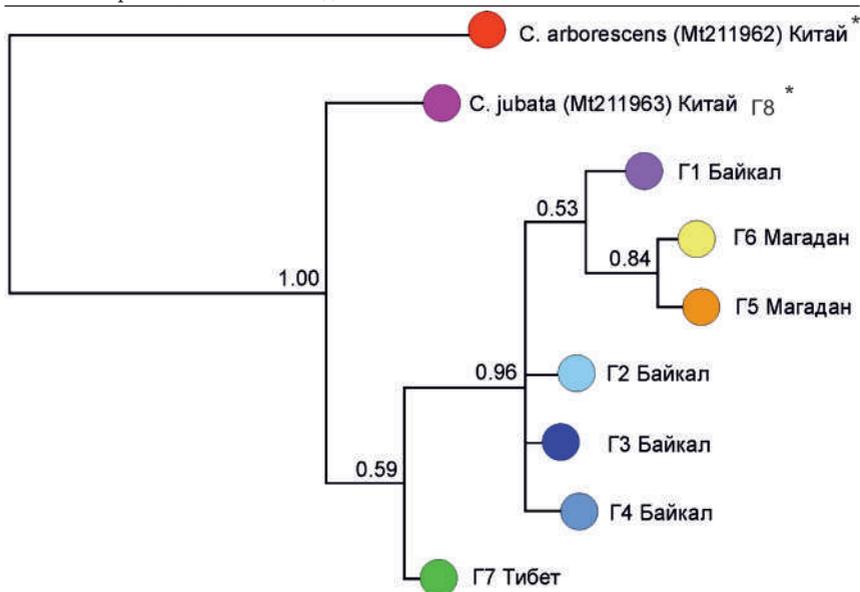


Рис. 2. Филогенетическое дерево популяций *C. jubata*, построенное с помощью Байесовского подхода в программе Mr Bayes. Г1–Г4 – гаплотипы образцов из Бурятии (выборка «Байкал»), Г5–Г6 – гаплотипы образцов из Магаданской области (выборка «Магадан»). Г7 – гаплотип образцов с юго-востока Тибетского нагорья. Числами обозначены значения апостериорной вероятности. Звездочкой обозначены образцы из Genbank.

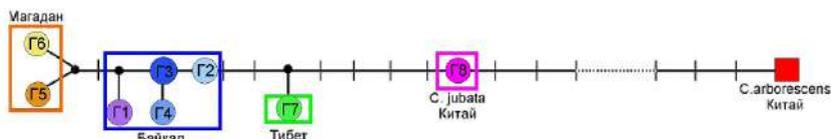


Рис. 3. Генеалогическая сеть гаплотипов, построенная с помощью метода Median Joining в программе NETWORK. Г1–Г8 – исследуемые гаплотипы.

Общность Тибето-Гималайской флоры с флорами Сибири и Дальнего Востока может быть объяснена миграцией видов растений по непрерывным горным цепям. Четвертичные колебания климата неоднократно приводили к возникновению обширных перигляциальных ландшафтов с высокой долей ксерофитной и арктоальпийской растительности (Zhang et al., 2016). Яркими примерами флористических связей могут служить *Astragalus frigidus* (L.) A. Gray, *Paraquilegia micropilla* (Royle) J.Drumm. & Hutch, *Rhododendron anthopogon* D. Don и др. В настоящее время ученые активно исследуют популяционно-генетиче-

скую структуру видов Тибетского плато. Для многих видов выявлена высокая изменчивость и четкая структурированность популяций из разных частей плато. Однако практически нет исследований, в которых бы на примере одного вида сравнивали маргинальные популяции с популяциями из центра разнообразия. Так, на примере *Pedicularis longiflora* Rudolph показана четкая генетическая дифференциация. На востоке Тибетского плато высокополиморфная часть ареала, в центральной части плато низкополиморфная (Yang et al., 2008), которая соответствует Алтайской популяции этого вида. Выявлено, что виды продвигаются на север с потерей большей части изменчивости. В нашем случае исследовано всего два образца из Тибета, что слишком мало, чтобы в полном объеме оценить изменчивость в основной части ареала. Однако и в Сибирской и в Дальневосточной частях ареала отмечен полиморфизм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы отобраны молекулярно-генетические маркеры, перспективные для более детальных исследований на большем объеме материала. Выявлена дифференциация выборок из трех географических регионов.

Выдвинуты две гипотезы, объясняющие выявленную структуру:

1. В Сибирь и на Северо-Восток Евразии расселение произошло из разных частей центра разнообразия, т.е. Тибетского плато.
2. Близкородственные гаплотипы сформировались на месте – в Сибири и на Северо-Востоке Евразии – уже после расселения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чурюлина А.Г., Бочарников М.В., Огуреева Г.Н. География караганы гривастой (*Caragana jubata* (Pall.) Poir.) и её фитоценотическая роль в растительном покрове гор // Вестник Московского университета. 2020. Серия 5. География. № 3. С. 108–117.
- Duan L., Yang X. A molecular phylogeny of Caraganeae (Leguminosae, Papilionoideae) reveals insights into new generic and infrageneric delimitations // PhytoKeys. 2016. № 70. P. 111–137.
- Grivet D., Heinze B., Vendramin G.G., Petit R.J. Genome walking with consensus primers: application to the large single copy region of chloroplast DNA // Molecular Ecology Notes. 2001. Vol. 1. № 4. P. 345–349.
- Taberlet P.T., Geilly L., Patou G., Bouvet J. Universal primers for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA // Plant Molecular Biology. 1991. Vol. 17. № 5. P. 1105–1109.

- Yang F.S., Li Y.F., Ding X., Wang X.Q.* Extensive population expansion of *Pedicularis longiflora* (Orobanchaceae) on the Qinghai-Tibetan Plateau and its correlation with the Quaternary climate change // *Molecular ecology*. 2008. № 17. P. 5135–5145.
- Zhang M.L., Fritsch P., Cruz B.* Phylogeny of *Caragana* (Fabaceae) based on DNA sequence data from *rbcL*, *trnS-trnG*, and ITS // *Molecular phylogenetics and evolution*. 2009. № 50. P. 547–559.
- Zhang M.L., Xiang X.G.* Himalayan uplift shaped biomes in Miocene temperate Asia: Evidence from leguminous *Caragana* // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 1–7.

Макрозообентос старичных озёр поймы р. Буй (Республика Башкортостан)

Е.А. Бобкова

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

Ключевые слова: макрозообентос, Республика Башкортостан, старичные озёра

Речные поймы играют большую роль в жизни водных и околоводных экосистем. В пойменных водоёмах живые организмы находятся в постоянно меняющихся условиях, чему способствует заливание их речными и тальми водами в период паводка и резкое уменьшение уровня воды в межень. Поэтому здесь формируется уникальная фауна, изучению которой в нашей стране уделяется крайне мало внимания.

Цель работы: изучить качественное и количественное развитие макрозообентоса старичных озёр поймы реки Буй.

Задачи:

1. Определить видовой состав макрозообентоса;
2. Оценить количественное развитие макробеспозвоночных в разных старицах;
3. Оценить биоразнообразие макрозообентоса старичных озёр;
4. Оценить межгодовую динамику видового состава и количественного развития макрозообентоса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на старичных озёрах поймы р. Буй, расположенных на левом берегу реки в Республике Башкортостан между сёлами Амзя и Карманово (56.2415 N, 54.4651 E; 56.2440 N, 54.4755 E; 56.2441 N, 54.4755 E). Площадь стариц около 400–450 м², глубина до 3 метров, максимальная степень зарастания макрофитами – 85%.

Отбор проб проводили с помощью гидробиологического скребка с апреля по сентябрь 2019–2020 гг. по общепринятой методике гидробиологических исследований. Беспозвоночных фиксировали 96% этиловым спиртом. Определение видовой принадлежности вели по доступным определителям (Определитель..., 1997, 1994, 1999, 2001, 2004, 2016). Всего было отобрано 37 количественных и 37 качественных проб макробеспозвоночных. Общее количество отобранных особей беспозвоночных животных составило 1675 экземпляров. Одноре-

менно со сбором бентоса учитывали температуру, глубину, тип грунта и проективное покрытие растительности. Для описания макрозообентоса рассчитывали следующие показатели: численность, биомасса, число видов, индекс Шеннона-Уивера, выровненность по Пиелу, индекс доминирования Бергера-Паркера, ЕРТ-индекс (доля подёнок, веснянок и ручейников по численности), доли отдельных таксонов в сообществе. Биомассу отдельных групп бентоса определяли взвешиванием на торсионных весах ВТ-500 с точностью до 1 мг (крупные организмы взвешивали на технических весах с точностью до 0.01 г) после обсушивания на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен. Личинок ручейников взвешивали без домиков. Для определения биомассы на м² проводили перерасчёт по пропорции от площади отобранной пробы бентоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего за период исследования обнаружено 164 вида макрозообентоса из 60 семейств и 13 отрядов. По числу видов диминировали двукрылые, жесткокрылые и моллюски. Обычными представителями бентоса были виды групп: Annelida, Isopoda, Odonata, Trichoptera, Ephemeroptera и Heteroptera, Coleoptera, Diptera, Mollusca.

За два года в трёх озёрах отмечено 34 вида моллюсков, из них 27 видов брюхоногих моллюсков и семь видов двустворчатых. Преобладали брюхоногие моллюски из семейства Lymnaeidae и двустворчатые моллюски из семейства Sphaeriidae. Два вида моллюсков являются вселенцами: вид *Costatella integra* (Haldeman, 1841) распространен в аквариумной культуре и занесенный в водоёмы Евразии (Хохуткин, Винарский, 2013), *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer, 1828) расширяет ареал из низовьев рек Черноморско-Азовского бассейна на север, встречается в Каме и, судя по всему, через реку Буй попал в изучаемые старицы. Из ручейников в старицах встречено два вида: *Phryganea grandis* (L., 1758), *Limnephilus* sp. (L., 1815). Нимфы подёнок были представлены видами: *Cloeon* sp. *dipterum* (L., 1761), *Cl. (C.) luteolum* (Muller, 1776), *Cl. (P.) bifidum* (Bengtsson 1912), *Baetis vernus* (Curtis, 1834), *Caenis horaria* (L., 1758), *Heptagenia fuscogrisea* (Muller, 1776).

Фауна жесткокрылых насчитывала 40 видов жуков. Виды *Berosus (B.) signaticollis* (Charpentier, 1825), *Dytiscus thianschanicus* (Gschwendtner, 1923), *Graptodytes bilineatus* (Sturm, 1835), *Graptodytes granularis* (L., 1767), *Haliphus sibiricus* (Motschulsky, 1860), *Haliphus (L.) varius* (Nicolai, 1822), *Helophorus (R.) brevipalpis* (Bedel, 1881), *H. (R.) discrepans* (Rey, 1885), *H. (R.) pumilio* (Erichson, 1837), *Hydraena (H.) reyi* (Kuwert, 1888), *Hydroporus palustris* (L., 1761), *Ilybius fenestratus*

(Fabricius, 1781), *Limnebius* (L.) cf. *parvulus* (Herbst, 1797) *L.* (L.) *truncatellus* (Thunberg, 1794), *Ochthebius* (A.) *hungaricus* (Endrdy-Younga, 1967), *Rhantus latitans* (Sharp, 1882) указаны для Республики Башкортостан впервые (Сажнев и др., 2019; 2020).

В старицах отмечено семь видов пиявок, характерных для стоячих водоёмов. Характерными представителями макрозообентоса пойменных водоёмов являются ракообразные. В исследуемых старицах встречались: *Astacus leptodactylus* (L., 1758), *Asellus aquaticus* (L., 1758) и *Gammarus* sp. (Fabricius, 1775). Стрекозы были представлены семействами: Coenagrionidae, Libellulidae, Aeschnidae. Чаще всего встречался вид *Erythromma najas* (Hansemann, 1823), достигавший численности 176 экз/м и биомассы 4192 мг/м. На старицах отмечена разнообразная фауна полужесткокрылых, насчитывающая девять видов: *Cymatia coleoprata* (Fabricius, 1777), *Gerris odontogaster* (Zetterstedt, 1828), *Nepa cinerea* (L., 1758), *Notonecta glauca* (L., 1758), *Ilyocoris cimicoides* (L., 1758), *Micronecta minutissima* (L., 1758), *Plea minutissima* (Leach, 1817), *Sigara limitata* (Fieber, 1848), *S. nigrolineata* (Fieber, 1848).

Олигохеты представлены видами: *Limnodrilus hoffmeisteri* (Claparde, 1862), *Nais elinguis* (Muller, 1774), *Ophidonais serpentine* (Muller, 1773), *Stylaria lacustris* (L., 1767), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826). Общая численность бентоса менялась в пределах 200–1000 экз/м.

Отмечено уменьшение плотности бентоса в августе на всех изученных старицах, это связано с вылетом амфибиотических насекомых. Биомасса макрозообентоса была достаточно высока 6.9–86.3 г/м, при этом снижение биомассы также отмечено в августе. Индекс Шеннона старичных озёр составлял от 0.44 до 2.69. Выравненность сообщества по Пиелу менялась в пределах 0.45–0.84. К концу лета сокращалась плотность личинок поденок, поэтому происходит снижение числа ЕРТ-индекса. Его показатели менялись от 51% в июне до 2% в августе. Индекс доминирования Бергера-Паркера составлял от 0.15 до 0.51. По шкале трофности Китаева С.П. (2007), обследованные старицы имеют средний класс биомассы макрозообентоса и относятся к бета-мезотрофному типу.

ВЫВОДЫ

В составе макрозообентоса старичных озёр поймы реки Буй за 2019–2020 гг. выявлено 164 вида из 60 семейств и 13 отрядов. Средняя численность бентоса составляла 572 экз/м², средняя биомасса – 25.4 г/м². Средняя выравненность сообщества макрозообентоса по Пиелу – 0.56. Индекс биоразнообразия Шеннона невысоким, составил в среднем 1.59.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 394 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т.2. Зообентос. М.–СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 1. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 1994. 395 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 2. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 1995. 629 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 3. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 1997. 444 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 4. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 2000. 997 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 5. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 2001. 825 с.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 6. СПб.: Зоологический институт РАН, изд-во «Наука», 2004. 528 с.
- Сажнев А.С., Холмогорова Н.В., Бобкова Е.А.* Водные жесткокрылые (Insecta: Coleoptera) новые для фауны Башкортостана // Материалы по флоре и фауне Республики Башкортостан. 2019. Вып. 22. С. 106–112.
- Сажнев А.С., Холмогорова Н.В., Бобкова Е.А.* Новые находки водных жесткокрылых (Coleoptera) на территории Удмуртии и Башкирии // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 1. С. 29–36.
- Хохуткин И.М., Винарский М.В.* Моллюски Урала и прилегающих территорий. Семейства Acroloxidae, Physidae, Planorbidae (Gastropoda, Pulmonata, Lymnaeiformes). Часть 2. Екатеринбург: Гощицкий, 2013. 184 с.

Проверка избирательности и погрешности бутылочного метода оценки обилия мелких млекопитающих

А.С. Будимиров

Уральский федеральный университет им. первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: биомаркеры, бутылочный метод, грызуны, землеройки, оценка обилия

Мелкие млекопитающие, как один из важнейших компонентов наземных экосистем, часто служат объектом биологических исследований. Для их изучения разработано большое число разных методов (Карасёва и др., 2008; Шефтель, 2018). Одна из их характеристик – инвазивность – важна как по этическим соображениям, так и из-за влияния на результат. Так, методы безвозвратного изъятия животных могут искажать показатели дисперсии (Калинин, 2019) и соотношение видов в сообществе и неприменимы при работе с вымирающими видами. Один из новых неинвазивных методов предполагает использование в качестве орудий учёта пластиковых бутылок (Толкачёв и др., 2019). К преимуществам бутылочного метода относятся дешевизна оборудования и потенциал для модификаций. В применении метода возникают две проблемы: как отследить посещение одним животным более одной бутылки, и как это влияет на общую оценку обилия. Неясна была и его избирательность. Для решения задачи мы применили биомаркеры, позволяющие пометить зверька через приманку. С помощью мечения планировали оценить погрешность, создаваемую посещениями более одной бутылки, и сравнить полноту охвата сообщества микромаммалий на трансектах с разным интервалом между бутылками (5 или 10 метров), чтобы выявить оптимальный интервал.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент был проведён в два этапа: первый был реализован летом 2019 г. и занял пять дней. Исследование проходило в Юго-Западном лесопарке г. Екатеринбурга. В первый день были разложены две линии, включавшие по 50 бутылок с приманкой. Интервалы между соседними бутылками для первой линии составили 5 метров, для второй – 10 метров. Расстояние между трансектами было равно 100 м, включая автодорогу. В бутылки поместили твердую приманку на ос-

нове овсяных хлопьев (Толкачёв, Беспамятных, 2019). Для регистрации захода в бутылку приманка включала биомаркеры: тетрациклин в нечетных бутылках, родамин В — в четных. Масса кусков составляла 5 ± 0.2 г. Концентрация обоих маркеров — 800 мг/кг сухого веса. На следующий день бутылки были заменены давилками. В течение трех дней животных отлавливали на стандартную хлебную приманку. В ходе этапа №1 было отловлено 110 животных двух видов: малая лесная мышь (*Apodemus uralensis* Pallas, 1811) и рыжая полёвка (*Myodes glareolus* Schreber, 1780). Второй этап был проведен в том же году и занял 12 дней: работали в лесах вдоль Кольцовского тракта, г. Екатеринбург. Прикормочные станции на двух трансектах были размещены аналогично, по 50 штук с интервалами в 5 или 10 м. Расстояние между линиями составляло 100 м с автодорогой. В первый день были размещены бутылки с приманкой, содержащей биомаркеры. Масса кусков приманки была снижена до 1 ± 0.2 г. После установки давилок отлов животных проходил 10 дней. При проведении этапа №2 было поймано 185 зверьков семь видов: малая лесная мышь, полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), обыкновенная/восточноевропейская полёвка (*Microtus arvalis* Pallas, 1778/*Microtus levis* Miller, 1908), красная полёвка (*Myodes rutilus* Pallas, 1779), полёвка-экономка (*Microtus oeconomus* Pallas, 1776), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758), малая бурозубка (*Sorex minutus* Linnaeus, 1766). Латинские названия животных даны в соответствии с базой Catalogue of Life. После поимки зверьков в обоих случаях изучали в лаборатории на наличие родаминовой метки, а также для определения пола и половой зрелости. Черепа очищали для установления вида и обнаружения тетрациклиновой метки в резцах. Наличие обеих меток у одной особи было доказательством посещения не менее двух бутылок с разными маркерами.

Математический аппарат включал точный тест Фишера, логистическую регрессию и тест Вальда. Расчёты проводили в программном пакете STATISTICA 6.0, StatSoft Inc.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На этапе №1 у 20 зверьков обнаружили тетрациклиновую метку, у 67 — родаминовую. Хотя бы одну метку имели 16 особей на линии с интервалом 10 м и 58 — на линии с интервалом 5 м. Во второй части у 8 животных найдена тетрациклиновая метка, у 35 — родаминовая. На обоих этапах вероятность отлова животных с меткой была выше при интервале 5 м, чем при 10 м (77.3% и 45.7% на этапе №1, 38.9% и 15.4% на этапе №2 (рис. А и С). Вероятно, это связано с более плотным расположением приманки.

На этапе №1 отловлено 13 особей с двумя метками (табл. 1). Мы предполагали, что при более плотном расположении орудий учёта возрастёт частота посещений более одной бутылки. Однако различия по доле зверьков с двойной меткой для двух способов размещения бутылок были незначимыми ($p > 0.05$). Во второй части работы было поймано по одной неполовозрелой особи *A. agrarius* на каждой линии. В связи с увеличением времени вылова, оценки доли зверьков с двойной меткой, полученные на этапе № 2, наиболее точны и составляют 6.2% и 5.3% от всех меченых при интервале 5 и 10 м без учёта землероек. Результаты оценки влияния на вероятность мечения факторов «вид», «пол», «половозрелость», «интервал» приведены в табл. 2.

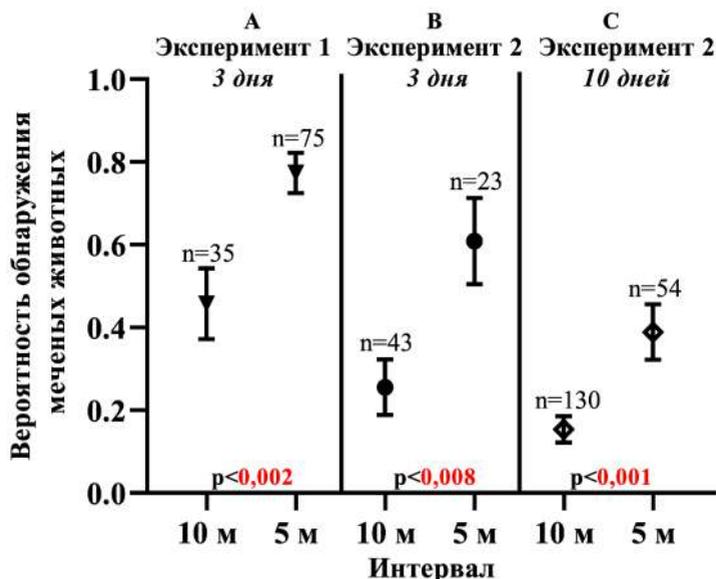


Рис. Вероятность обнаружения меченых зверьков (среднее \pm ошибка) при интервалах 5 и 10 м между прикормочными станциями в двух этапах. По второму эксперименту расчёты сделаны для результатов отлова в течение первых 3 (для сравнения с первым) и полных 10 дней.

Таблица 1. Животные, помеченные обоими маркерами, в первом эксперименте

Вид	Интервал 5 метров				Интервал 10 метров	
	<i>S. uralensis</i>		<i>M. glareolus</i>		<i>M. glareolus</i>	
Пол	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Неполовозрелых	1	–	–	–	–	–
Половозрелых	–	1	3	1	3	1
Повреждённых	3		–		–	

Таблица 2. Результаты проверки влияния факторов на вероятность обнаружения метки у животного

Фактор	Эксперимент 1			Эксперимент 2		
	<i>df</i>	W^2	<i>p</i>	<i>df</i>	W^2	<i>p</i>
Интервал	1	8.20	<0.01	1	3.90	0.05
Вид	1	2.30	0.13	3	7.40	0.06
Пол	1	0.50	0.47	1	0.00	0.96
Половозрелость	1	0.20	0.62	1	2.20	0.14

Примечание. *df* – степень свободы; W^2 – значение теста Вальда; *p* – уровень значимости

ВЫВОДЫ

1. Хотя некоторые животные действительно посещают более одной бутылки, их доля незначительна и вряд ли может оказывать существенное влияние на оценки обилия, получаемые с помощью бутылочного метода.
2. Интервал 5 м позволяет охватить значимо большую долю сообщества грызунов ($p < 0.002$ и $p < 0.001$ для этапов № 1 и 2) и потенциально даёт более точную оценку обилия, что делает его предпочтительным.
3. «Интервал» – единственный фактор, влияющий на вероятность мечения. Метод показал избирательность, идентичную ловушко-линиям, что даёт возможность пересчёта индекса обилия, получаемого бутылками, в более традиционный.
4. Родамин В по эффективности значительно превосходит тетрациклин. Его результативность была в 3.4 раза выше на первой стадии исследования и в 4.4 раза – на второй ($p < 0.01$).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госзадания Института экологии растений и животных УрО РАН, частично поддержана грантом РФФИ № 20-04-00164.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Калинин А.А. Последствия учётов мелких млекопитающих методом безвозвратного изъятия // Экология. 2019. № 3. С. 211–216.
- Карасева Е.В., Телицына А.Ю., Жигальский О.А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 416 с.
- Толкачёв О.В., Байтимирова Е.А., Маклаков К.В. Простой метод оценки обилия мелких млекопитающих // Экология и эволюция: новые горизонты. Материалы Международного симпозиума, посвящённого 100-летию академика С. С. Шварца. Екатеринбург: Гуманитарный университет, 2019. С. 110–113.

-
- Толкачев О.В., Беспамятных Е.Н.* Новый метод детекции родаминовой метки и возможности его применения в зоологических исследованиях // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология, 2019. Т. 12. № 4. С. 352–365.
- Шефтель Б.И.* Методы учёта численности мелких млекопитающих // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2018. Т. 3. № 3. С. 1–21.
- Roskov Y., Ower G., Orrell T.* et al. Catalogue of Life, 2019. Annual Checklist. URL: www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-884X. (10.05.2021)

Особенности стирания резцов у пещерных медведей (*Ursus spelaeus sensu lato*) Урала

С.В. Вольская¹, Д.О. Гимранов²

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: пещерный медведь, резцы, Урал, поздний плейстоцен

Пещерные медведи обитали почти на всей территории Северной Евразии на протяжении среднего и позднего плейстоцена (Барышников, 2007). На сегодняшний день принято различать от пяти до семи видов пещерных медведей, два из которых обитали на территории Урала: большой пещерный медведь (*U. kanivetz Verestchagin, 1973*) и малый пещерный медведь (*U. ex gr. savini-rossicus*) (Kosintsev et al., 2016; Baryshnikov, Puzachenko, 2019, 2020; Barlow et al., 2021).

Изучение изменчивости зубов млекопитающих является одной из приоритетных задач в палеозоологических исследованиях. Зубы, по сравнению с другими элементами скелета, имеют более крепкую структуру и поэтому наиболее часто сохраняются в ископаемом состоянии. Особенности строения зубов дают важную информацию о таксономии, распространении, экологии и филогении как отдельных видов, так и крупных групп млекопитающих.

Различают хронологическую, географическую и возрастную изменчивость зубных признаков. Под возрастной изменчивостью понимается изменчивость зуба на протяжении жизни особи. Понимание особенностей возрастной изменчивости зубов хищных млекопитающих дает возможность более полно охарактеризовать биологию вымерших видов. Зная темпы стирания зубов у растительноядных хищников, к которым относятся пещерные медведи, можно охарактеризовать особенности их питания. Соотношение стёртых и нестёртых зубов в отложениях косвенно указывает на возрастной состав погибших особей. Это в свою очередь может быть связано с уровнем смертности в популяциях или с тафономическими особенностями местонахождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В нашей работе были исследованы верхние и нижние резцы пещерных медведей. Резцы выполняют функцию, связанную с захватом и от-

рыванием объекта питания (для медведей в большинстве случаев это растительные корма). Верхние и нижние резцы прорезаются первыми (Veitschegger et al., 2019) и поэтому могут стираться быстрее остальных постоянных зубов. Первый и второй верхние (I1-2) резцы, так же как и первый и второй нижние (i1, i2) резцы прорезаются почти синхронно (Dittrich, 1960) и стираются в одном режиме (Смирнов и др., 1990).

Объектом нашего исследования стали первый и второй верхние (I1-2) и нижние (i1, i2) резцы. Резцы I1 и I2 имеют одинаковую морфологию, поэтому были объединены при анализе, так как точно установить номер резца не представляется возможным.

Было изучено 304 резца из пещеры Победы, 236 резцов из пещеры Игнатьевская, 90 резцов из пещеры Тайн, 99 резцов из пещеры Аша 1, 91 резец из пещеры Заповедная, 474 резца из пещеры Иманай. Суммарно проанализировано было 1294 резца, хранящиеся в музее ИЭРиЖ УрО РАН (г. Екатеринбург). Проведено морфологическое описание коронок резцов. На основе уровня стирания главных и второстепенных элементов коронки было выделено 8 уровней стирания для верхних резцов (рис. 1), 9 уровней стирания для первого нижнего резца (рис. 2) и 8 уровней стирания для второго нижнего резца (рис. 3).

I1-2

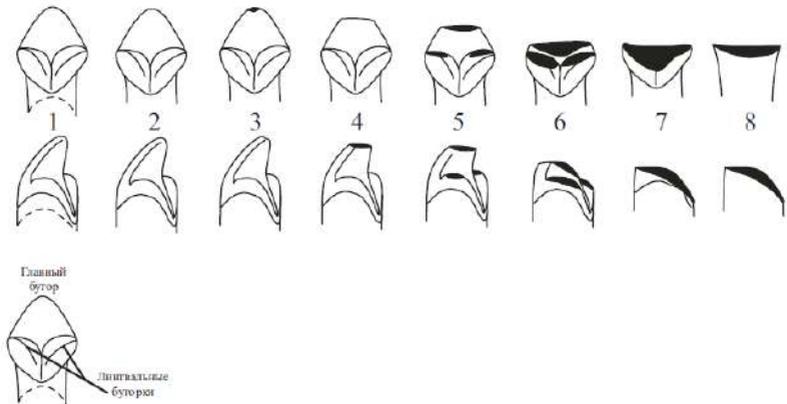


Рис. 1. Схема уровней стирания первого и второго верхних резцов (I1–2).

При механической группировке полученных данных уровни стирания объединялись в классы, которые соответствовали общему характеру стирания (таблица). Зубы с нестёртой коронкой и имеющие следы притирания (1, 2, 3 уровни) отнесены в класс «нестёртые зубы». Зубы со средним уровнем стирания, когда заметно стёрты основные и вто-

ростепенные элементы объединялись в класс «стёртые зубы». Зубы с сильно стёртой коронкой, когда присутствовала лишь полоска эмали или коронка стиралась полностью отнесены в класс «сильно стёртые зубы».

i1

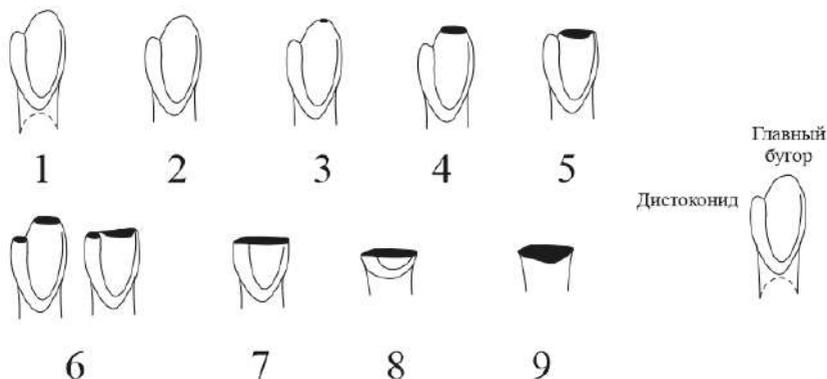


Рис. 2. Схема уровней стирания первого нижнего резца (i1).

i2

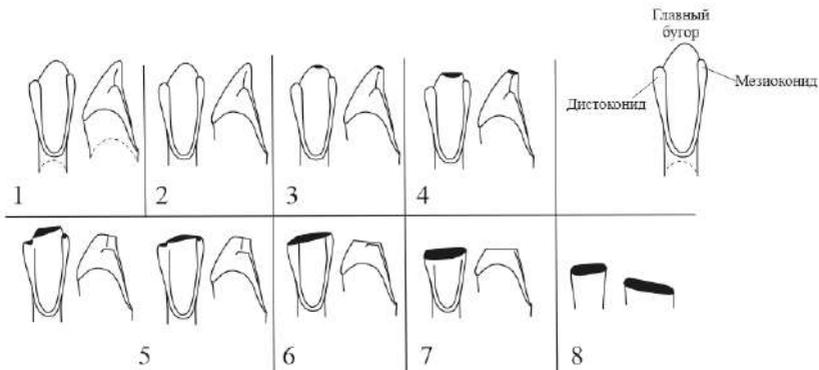


Рис. 3. Схема уровней стирания второго нижнего резца (i2).

На основе литературных данных (Koby, 1952; Kurten, 1958; Dittrich, 1960; Debeljak, 1996; Stiner, 1996) была проведена группировка уровней стёртости в соответствии с индивидуальным возрастом животного (табл. 1). В группу однолетних (1+) медведей мы отнесли зубы с не сформированным корнем (1 уровень). В группу полувзрослых (2-3+)

медведей мы отнесли зубы со сформированным корнем и нестёртой коронкой (2, 3 уровни). Однолетние и полувзрослые возрастные группы объединяют молодых особей. В группу взрослых (4+...) медведей мы отнесли зубы со средним и сильным уровнем стёртости коронки (4–7 уровни для I1–2 и i2; 4–8 уровни для i2). В группу старых медведей мы отнесли зубы с очень сильно стёртыми коронками (8 уровень для I1–2 и i2; 9 уровень для i2).

Таблица. Выделение классов стирания резцов и возрастных групп пещерных медведей

Уровень стирания	Класс стирания		Возрастная группа	
	I1–2 и i2	i1	I1–2 и i2	i1
1	нестёртые зубы		однолетние	
2			полувзрослые	
3				
4	стёртые зубы	стёртые зубы	взрослые	взрослые
5				
6	сильно стёртые зубы	сильно стёртые зубы	старые	
7				
8	–	–	–	старые
9	–	–	–	старые

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пещере Тайн значительно доминирует класс нестёртые зубы (85%, $p = 5.00$, где p – ошибка доли). Почти не отмечено разницы в стирании между верхними и нижними резцами. Соотношение уровня стертости с возрастными группами показало, что в пещере Тайн гибли в основном однолетние животные (до 75%, $p = 6.00$).

В пещере Игнатьевская преобладающим классом стертости являются нестёртые зубы (до 79%, $p = 5.33$). Отмечена небольшая разница в стирании между первым и вторым нижними резцами. Чаще сильно стёртые коронки встречены у i1 (17.65%, $p = 5.81$), чем в выборке i2 (1.69%, $p = 1.71$). Соотношение уровня стертости с возрастными группами показало, что в пещере Игнатьевская гибли в основном однолетние животные (около 50%, $p = 4.29$), однако субдоминантной группой являлись взрослые животные (до 40%, $p = 6.50$). Ранее уже были изучены особенности стирания резцов пещерных медведей из пещеры Игнатьевская (Смирнов и др., 1990). В целом полученные данные совпадают с опубликованными ранее.

Было установлено, что в пещере Аша 1 доминирующим классом стирания являются стёртые зубы (до 63%, $p = 9.29$), но показана большая разница между уровнями стирания верхних и нижних резцов – среди верхних резцов I1-I2 сильно стёртых зубов 30%, $p = 6.23$, а среди нижних резцов достаточно много экземпляров с нестертой коронкой (33–41%, $p = 11.94$). Соотношение уровня стертости с возрастными группами показывает однозначное преобладание взрослых животных в тафоценозе местонахождения Аша 1 (до 74%, $p = 5.87$). Ранее уже были изучены особенности стирания резцов пещерных медведей из пещеры Аша 1 (Смирнов и др., 1990), полученные данные совпадают с опубликованными ранее.

Установлено, что в пещере Победы преобладающим классом стертости является класс нестертые зубы (до 59%, $p = 6.30$). Отмечена небольшая разница в стирании между верхними и нижними резцами. Среди верхних резцов зубы с нестёртыми коронками встречались реже (42%, $p = 4.01$). Соотношение уровня стертости с возрастными группами показало, что в пещере Победы взрослые и молодые (однолетние и полувзрослые) животные гибли примерно в равном соотношении.

В пещере Заповедная выявлено достаточно равномерное распределение классов стертости резцов. Только выборка i1 выделяется преобладанием класса стертые зубы (69%, $p = 12.80$). Соотношение уровня стертости с возрастными группами показало, что в пещере Заповедная гибли в основном взрослые животные (около 70%, $p = 9.28$).

Установлено, что в пещере Иманай преобладающим классом стертости является класс стертые зубы (до 63%, $p = 4.34$). Соотношение уровня стертости с возрастными группами показало, что в пещере Иманай гибли в основном взрослые животные (около 63%, $p = 3.80$).

ВЫВОДЫ

1. Было выделено 8 уровней стирания и 3 класса стёртости резцов пещерных медведей из 6 позднплейстоценовых местонахождений Урала.
2. Установлено, что в пещерах Тайн, Игнатьевская и Победы доминирующим классом стирания являются нестёртые зубы. В пещере Аша 1, Заповедная и Иманай доминирующим классом стирания является класс стёртые зубы.
3. В пещерах Тайн и Игнатьевская гибли в основном молодые особи, что согласуется с ранее опубликованными данными. В пещерах Аша 1, Заповедная и Иманай гибли в основном взрослые особи. В пещере Победы соотношение молодых и взрослых особей примерно равно.

4. В пещерах Тайн, Заповедная, Иманай не отмечена разница между уровнями стирания верхних и нижних резцов, тогда как в пещерах Игнатьевская, Аша 1 и Победы эта разница заметна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Barlow A., Paijmans J., Alberti F. et al.* Middle Pleistocene genome calibrates a revised evolutionary history of extinct cave bears // *Current Biology*. 2021. Vol. 31. № 8. P. 1771–1779.
- Baryshnikov G.F., Puzachenko A.Y.* Morphometry of upper cheek teeth of cave bears (Carnivora, Ursidae) // *Boreas*. 2019. Vol. 48. P. 581–604.
- Baryshnikov G.F., Puzachenko A.Y.* Morphometry of lower cheek teeth of cave bears (Carnivora, Ursidae) and general remarks on the dentition variability // *Boreas*. 2020. Vol. 49. № 3. P. 562–593.
- Debeljak I.* Ontogenetic development of dentition in the cave bear // *Geologija*. 1996. Vol. 39. № 1. P. 13–77.
- Dittrich L.* Milchgebissentwicklung und Zahnwechsel beim Braunbären (*Ursus arctos* L.) und anderen Ursiden // *Morphologisches Jahrbuch*. 1960. Vol. 101. P. 1–42.
- Koby F.* La dentition lactraled' Ursuss pelaeus // *Revue suisse de zoologie*. 1952. Vol. 59. № 27. P. 511–541.
- Kosintsev P.A., Gasilin V.V., Gimranov D.O. et al.* Carnivores of the Ural in the late Pleistocene and Holocene // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 145–155.
- Kurtz B.* Life and death of the Pleistocene cave bear: a study in paleontology. Helsinki: Helsingfors, 1958. 59 p.
- Stiner M.C., Arsebck G., Howell F.C.* Cave bears and Paleolithic artifacts in Yarimburgaz Cave, Turkey: dissecting a palimpsest // *Geoarchaeology*. 1996. Vol. 11. № 4. P. 279–327.
- Veitschegger K., Kolb C., Amson E. et al.* Longevity and life history of cave bears – a review and novel data from tooth cementum and relative emergence of permanent dentition // *Historical Biology*. 2019. Vol. 31. № 4. P. 510–516.
- Барышников Г.Ф.* Семейство медвежьих (Carnivora, Ursidae). Фауна России и сопредельных стран. Млекопитающие. Т. 1. Вып. 5. СПб: Наука, 2007. 542 с.
- Смирнов Н.Г., Большаков В.Н., Косинцев П.А. и др.* Историческая экология животных гор Южного Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 245 с.

Динамика палеотемператур, реконструированных по данным палинологического анализа, в голоцене на Урале

А.Т. Галимов

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург
Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, голоцен, климат, палинология

Реконструкция динамики растительного покрова отдельных регионов в голоцене является актуальной проблемой для специалистов разных областей исследования: палеоэкологов, палеогеографов, археологов и др.

Одним из информативных методов, дающих представление об историческом развитии растительных сообществ на определенной территории, является спорово-пыльцевой анализ (СПА) осадочных пород. На основании полученной по СПА информации о таксономическом составе прошлых растительных сообществ и соотношении их компонентов возможна реконструкция климатических параметров, таких как осадки, среднегодовая температура, температура самого холодного и теплого месяца и т.д.

В 2020 г. вышла публикация, представляющая базу данных поверхностных пыльцевых спектров Евразии (Davis и др., 2020). База включает в себя 8134 поверхностных спектра, участие в создании базы принимали ученые со всего мира, в том числе сотрудники Ботанического сада УрО РАН (Панова Н.К., Антипина Т.Г.), сотрудники ИЭРиЖ (Лаптева Е.Г.) и автор. На основе сходства ископаемых и поверхностных пыльцевых спектров из базы данных возможна реконструкция климатических параметров прошлого с применением метода биоклиматических аналогов, что позволяет более детально представить природные условия прошлых эпох.

Данная работа посвящена реконструкции среднегодовых температур и осадков на территории Урала на протяжении 11000 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для реконструкции были использованы 2347 поверхностных спектра, размещенных в открытом доступе в EMPD 2.0. Для получения современных климатических данных использовали специализированные массивы для климатических исследований ВНИИГМИ-МЦД.

Расположение метеостанций, данные которых использованы в работе, приведены ниже (рис. 1). Расположение пыльцевых поверхностных спектров представлено ниже (рис. 2).

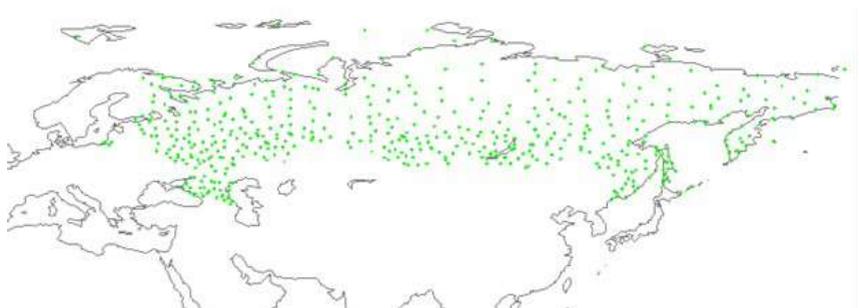


Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций, данные которых использованы при реконструкции.

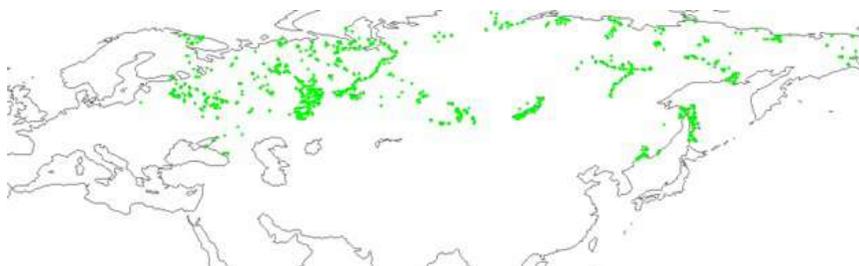


Рис. 2. Карта-схема расположения поверхностных пыльцевых спектров, использованных при реконструкции.

Для реконструкции использовали результаты спорово-пыльцевого анализа, выполненного Н.К. Пановой, Т.Г. Антипиной, В. Янковской и автором на более чем 20 разрезах торфяников Среднего, Северного, Приполярного, Полярного Урала, Южного Ямала и прилегающей территории Западной Сибири (Panova et al., 2003; Panova et al., 2003; Jankovska et al., 2006; Panova et al., 2010; Антипина и др., 2013; Антипина и др., 2014; Zaretskaya et al., 2014; Антипина, Панова, 2016; Антипина, Панова, 2014, 2016, 2017; Panova, Antipina, 2016; Panova et al., 2016) (рис. 3).

Для расчётов были взяты данные о пыльце только древесных растений. Для анализа и реконструкции использовали ПО Polygon 2.4.4.



Рис. 3. Карта-схема расположения проанализированных разрезов для проведения реконструкций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате работы получены климатограммы, отражающие динамику среднегодовой температуры и среднего количества осадков за год в течение голоцена для каждого из разрезов. Ниже приведен пример одной из климатограмм (рис. 4) оз. Арантур – природный парк Кондинские озёра, ХМАО (60°54' N, 63°35' E).

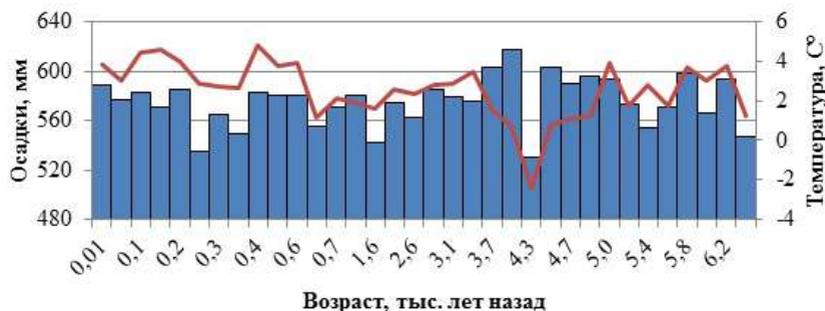


Рис. 4. Климатограмма территории оз. Арантур. Столбцы – годовое количество осадков; линия – среднегодовая температура.

На исследуемой территории температуры менялись на протяжении голоцена неодинаково и, в зависимости от локальных условий, реконструированные параметры имели более или менее выраженное изменение. Резкое похолодание случившееся 8200 лет назад и продолжавшееся от 200 до 400 лет, которое впервые было зафиксировано в 1960 г., а позже было подтверждено множеством исследований на территории Европы и России, выявлено на всех разрезах. Глобальное похолодание климата 8200 лет назад, аномальное для в среднем достаточно теплого периода среднего голоцена не могло не отразиться и на растительности Урала и Западной Сибири, что подтверждено климатограммами, изученных разрезов. Засуха 4200 лет назад, сопряженная с похолоданием, которая описана для многих регионов мира, отчетливо выражена на Среднем, Северном и Приполярном Урале, тогда как глобальное похолодание 8200 лет назад выявлено на всех разрезах.

Подход, при котором учитывают только пыльцу древесных растений, позволяет отследить глобальные тренды в смене климатических условий, но теряет точность климатической реконструкции. В свою очередь включение в анализ всех определенных таксонов, делает результаты чрезмерно «зашумленными» сочетанием локальных и региональных факторов. Подбор наиболее значимых таксонов для анализа возможен только при индивидуальной работе с каждым разрезом с учётом особенностей растительности и локальных условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе на основе открытой базы данных EMPD 2.0, впервые проведены количественные реконструкции климатических параметров на обширной территории Урала с использованием метода биоклиматических аналогов. Для реконструкции природно-климатических условий голоцена были объединены данные СПА большого количества датированных голоценовых разрезов на обширной территории восточного склона Урала, что позволило проследить динамику изменений климата по широтному профилю на протяжении голоцена и выявить наиболее теплые и холодные периоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антипина Т.Г., Панова Н.К., Чауркина Н.М.* Динамика природной среды в голоцене по данным комплексного анализа VI Разреза Горбуновского торфяника // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. Т. 4. № 16. С. 89–97.
- Антипина Т.Г.* Генезис и палеоэкология болот в голоцене на северо-западе Кондинской низменности (Западная Сибирь, Россия) // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Четвертого Международного полевого симпозиума. Новосибирск: изд. Томского ун-та, 2014. С. 260–262.
- Антипина Т.Г.* Палеоэкология и история развития болот на восточном склоне Северного Урала // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы пятого международного полевого симпозиума. Ханты-Мансийск–Томск: изд. Дом Томского гос. ун-та, 2017. С. 84–86.
- Antipina T.G., Panova N.K., Korona O.M.* The holocene dynamics of vegetation and environmental conditions on the eastern slope of the Northern Urals // Russian Journal of Ecology. 2014. Vol. 45. № 5. P. 351–358.
- Antipina T.G., Panova N.K.* The Holocene Dynamics of Vegetation and Climatic Conditions on the Eastern Slope of the Subpolar Urals // Russian Journal of Ecology. 2016 Vol. 47. № 4. P. 329–337.
- Davis B.A.S., Chevalier M., Sommer P.* et al. The Eurasian Modern Pollen Database (EMPD), v. 2. // Earth system science data. 2020. Vol. 12. № 4. P. 2423–2445.
- Jankovska V., Andreev A.A., Panova N.K.* Holocene environmental history on the eastern slope of the Polar Ural Mountains, Russia // Boreas. 2006. Vol. 35. № 4. P. 650–661.
- Panova N.K., Antipina T.G.* Late Glacial and Holocene environmental history on the eastern slope of the Middle Ural Mountains, Russia // Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 76–89.

- Panova N.K., Jankovska V., Korona O.M.* et al. The Holocene Dynamics of Vegetation and Ecological Conditions in the Polar Urals // Russian Journal of Ecology. 2003. Vol. 34. № 4. P. 219–230.
- Panova N.K., Trofimova S.C., Antipina T.G.* et al. Holocene Dynamics of Vegetation and Ecological Conditions in the Southern Yamal Peninsula According to the Results of Comprehensive Analysis of a Relict Peat Bog Deposit // Russian Journal of Ecology. 2010. Vol. 41. № 1. P. 22–30.
- Panova N.K., Antipina T.G., Jankovska V.* Holocene history of the environment and development of bogs on the eastern slope of the Polar and Pre-Polar Urals (Russia) // Environmental Dynamics and Global Climate Change. 2010. Vol. 1. №. 2. P. 1–14.
- Zaretskaya N.E., Panova N.K., Zhilin M.G.* et al. Geochronology, Stratigraphy, and Evolution of Middle Uralian Peatlands during the Holocene (Exemplified by the Shigir and Gorbunovo Peat Bogs) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2014. Vol. 2. № 6. P. 632–654.

Морфо-экологическое сравнение озёрных и речных форм сига-пыжьяна *Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin, 1788) бассейна р. Байдаратаяхи

Л.С. Горбунов

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: темп роста, размерно-возрастная структура, питание, озеро Нядато, озеро Нижнее Сядэйти, ЯНАО

Сиг-пыжьян – полиморфный и высокопластичный подвид сига, легко приспосабливающийся к различным условиям среды. Известно, что особи пыжьяна в одном водоёме могут занимать разные экологические ниши и при этом значительно различаться по поведению и внешнему виду (Решетников, 1980). Из-за труднодоступности р. Байдаратаяхи её ихтиофауна на настоящий момент является слабоизученной. В лаборатории экологии рыб ИЭРиЖ УрО РАН исследование ихтиофауны этого бассейна ведется с 1998 г. Предыдущими исследованиями показано, что сиг-пыжьян встречен в озёрах, в среднем и нижнем течении реки. Озёрный сиг-пыжьян из этого бассейна имеет сходный темп роста с сигом из р. Обь (Богданов и др. 2017). В р. Байдаратаяхе сиг-пыжьян достигает половозрелости на шестом-седьмом году жизни. Темп роста озёрного пыжьяна выше, чем у речного при сходном возрасте созревания. Настоящая работа была предпринята для более глубокого изучения сига-пыжьяна бассейна р. Байдаратаяхи.

Цель работы: изучить морфо-экологические особенности сига-пыжьяна из водоёмов и водотоков бассейна р. Байдаратаяха с разным уровнем проточности. **Задачи:** 1) проанализировать размерно-возрастную структуру сига-пыжьяна из выборок, собранных в водоёмах с разной проточностью (водотоки и водоёмы); 2) оценить возможность воспроизводства сига-пыжьяна в озёрах; 3) на основе полученных данных сделать вывод о принадлежности рассматриваемых группировок к одной из экологических форм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проведены в 2014, 2017 и 2019–2020 гг. На р. Байдаратаяха материал собран с 28 по 30 августа 2017 г. и с 30 по 31 июля 2019 г. – 88 экз. На оз. Нядато – с 12 по 14 августа 2020 г. – 30 экз.,

на оз. Н. Сядэйто – с 16 по 18 августа 2020 г. – 12 экз. Для лова использовали сети с размером ячеи от 18 до 60 мм. Анализ проведен на свежем материале по общепринятым методикам (Правдин, 1966). Возраст определяли по чешуе (Мина, 1976).

Значения индексов средних ежегодных приростов длины и массы тела (для того, чтобы уйти от разновозрастных и разноразмерных показателей) вычисляли как отношение промысловой длины – l – в сантиметрах и массы тела без внутренностей – q – в граммах к возрасту рыб, выраженному в полных годах жизни (Копориков и др., 2017). Описательная статистика выполнена в программе MS Excel, расчеты непараметрического U -критерия Манна-Уитни – в программе Statistica.

Река Байдаратаяха – вторая по величине река Байдарацкой тундры. Её длина составляет 123 км, площадь бассейна – 3 180 км². Река берет начало в горах Полярного Урала на высоте около 560 м над уровнем моря (Лёзин, 1995). Озёра Нядато и Нижнее Сядэйто находятся в Приуральском районе ЯНАО на правом берегу р. Байдаратаяхи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Размерно-весовые показатели особей сига-пыжьяна, выловленного в р. Байдаратаяхе и озёрах Н. Сядэйто и Нядато, представлены на рисунке. При одинаковом возрасте рыбы из исследованных водоёмов различны по длине и массе тела. Минимальные значения отмечены для сига из оз. Н. Сядэйто, максимальные – в оз. Нядато.

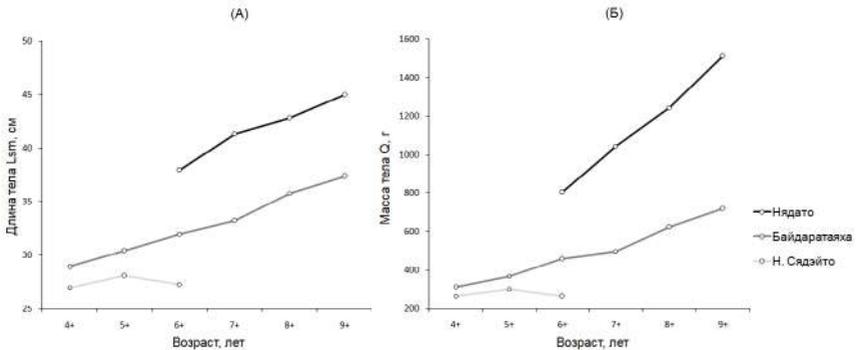


Рис. Средние значения длины (А) и массы (Б) тела сига-пыжьяна.

Средние ежегодные приросты промысловой длины тела не имеют статистически значимых различий по рассматриваемым выборкам (таблица). Темп средних ежегодных приростов, оцененный по массе тела без внутренностей, имеет статистически значимое увеличение по вектору Н. Сядэйто–Байдаратаяха–Нядато. Темп роста рыб зависит от кормовых условий. Оз. Нядато относится к высококормным водоёмам

для бентосоядных рыб, оз. Нижнее Сядэйто соответствует малокормным водоёмам олиготрофного типа (Оценка рыбопродуктивности..., 2020).

В оз. Нядато сиг-пыжьян имеет высокое тело, в р. Байдаратаяха и в оз. Н.Сядэйто – тело более прогонистое. Пропорции тела рыб из оз. Нядато свойственны озёрным формам сига-пыжьяна. Но так как в ходе полевых изысканий были обнаружены сеголетки в обоих озёрах, можно утверждать, что в озере Н. Сядэйто также существует самовоспроизводящаяся группировка озёрной формы сига.

Таблица. Результаты сравнительного анализа темпов роста сига-пыжьяна

Водоём	<i>l</i> /возраст		<i>q</i> /возраст	
	<i>U</i> -критерий	Уровень значимости (<i>p</i>)	<i>U</i> -критерий	Уровень значимости (<i>p</i>)
Байдарата-Н. Сядэйто	477	0.588	189	< 0.0001
Байдарата-Нядато	1196	0.443	15	< 0.0001
Нядато-Н. Сядэйто	178	0.956	0	< 0.0001

ВЫВОДЫ

В исследованных водоёмах выявлены различия в группировках сига-пыжьяна по показателю «масса тела без внутренностей», что определяется кормовыми условиями. Сеголетки сига-пыжьяна присутствовали в обоих озёрах, что свидетельствует о его воспроизводстве в этих водоёмах. Полученные данные позволяют сделать вывод, что в оз. Н. Сядэйто и оз. Нядато присутствует озёрная форма сига-пыжьяна, а в р. Байдаратаяха – речная полупроходная форма. Выявленные особенности показывают, что озёрная форма является более вариабельной, чем речная.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность А.Р. Копорикову и А.М. Горбуновой за помощь в сборе материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН АААА-А19-119031890085-3 и частично поддержана департаментом внешних связей ЯНАО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданов В.Д., Мельниченко И.П., Кижеватов Я.А., Богданова Е.Н. Структура населения рыб бассейна р. Байдаратаяхи // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2017. № 2. С. 33–44.

- Коториков А.Р., Богданов В.Д., Ялковская Л.Э. и др. Эколого-морфологическое и генетическое разнообразие налима (*Lota lota* L., 1758) в крупных речных бассейнах Западной Сибири // Экология. 2017. № 5. С. 365–376.
- Лёзин В.А. Реки и озёра Тюменской области (словарь-справочник). Тюмень: Пеликан, 1995. 300 с.
- Мина М.В. О методике определения возраста рыб при проведении популяционных исследований // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. Вильнюс: Мокслас, 1976. Ч. 2. С. 31–37.
- Оценка рыбопродуктивности и пригодности озёр для осуществления пастбищного рыбоводства: отчет о НИР. Екатеринбург, 2020. 122 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. 376 с.
- Решетников Ю.С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.

Кормовые запасы тундровых сообществ полуострова Ямал в нижнем течении р. Еркутаяха

А.М. Горбунова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: кормовые запасы, олени пастбища, южные тундры, Ямал

Полуостров Ямал – центральный район оленеводства в Ямало-Ненецком автономном округе. К оленьим пастбищам подзоны южных тундр Ямала относятся все доступные к выпасу территории, покрытые растительностью. Умеренный выпас, когда на одного оленя приходится не менее 100 га пастбищ, не опасен для тундровых экосистем. При высокой численности оленей выпас становится разрушающим фактором. Самое опасное при чрезмерном выпасе – многократное увеличение воздействия механических нагрузок на растительность посредством вытаптывания, приводящее к разрушению почвенно-растительного покрова. Начиная с 1950 г., на Ямале численность домашних оленей постоянно растёт (Колпащиков, 2011). В 1990 г. выпасалось 177 тыс., в 2016 г. – 255 тыс. (Логинов и др., 2017), в 2020 г. – 357 тыс. (Управление..., 2020) голов.

Актуальность работы связана с необходимостью мониторинга ресурсного потенциала растительности южных субарктических тундр в условиях сильной пастбищной нагрузки на экосистемы полуострова Ямал. Результаты исследований растительности Арктики методами ГИС-технологий сформировали представление об её «позеленении» – увеличении проективного покрытия осок и злаков, «закустаривании» тундры, росте значений вегетационных индексов (Forbes et al., 2010; Белоновская и др., 2016). Такие выводы плохо согласуются с наземными наблюдениями на исследуемых нами территориях Ямала. **Цель** работы – оценить состояние растительности и кормовые запасы оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала в окрестностях стационара «Еркута».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На территории района исследования промышленные объекты отсутствуют, выпас минимальный. В настоящее время через район олени проходят к зимним пастбищам. Растительность пригодна для выпаса

в бесснежные периоды. Состояние растительного покрова репрезентативно для подзоны южных субарктических тундр (Горбунова, 2021).

Изучение растительности проведено в 2017–2019 гг. методами геоботанического описания. В 2017 г. были исследованы деградированные тундры, в 2018 г. – малонарушенные. В 2019 г. повторно обследованы пробные площади 2017–2018 гг. Площадь описания – 100 м². Запас надземной фитомассы определён методом укусов, предполагающим случайный отбор образцов на учётных площадках 25x25 см в 3-кратной повторности. Кормовые запасы определены в камеральных условиях. При разборе укусов выделены фракции, поедаемые оленями (лишайники, осоки, злаки, разнотравье, листья и побеги кустарников, и кормовые виды кустарничков). Всего за три полевых сезона выполнено 79 геоботанических описаний и собрано 180 укусов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На малонарушенных площадях, по сравнению с деградированными, было выше видовое богатство сосудистых растений (табл. 1).

Проективное покрытие лишайников было ниже, чем на деградированных площадях. Это, вероятно, связано с тем, что выбитые участки в прошлом были лишайниковыми тундрами; в настоящее время это, в основном, кустарничковые тундры. Олений помёт присутствовал на 15 из 24 малонарушенных площадей, а на деградированных участках помёт присутствовал на всех пробных площадях.

Таблица 1. Признаки состояния растительных сообществ деградированных и малонарушенных участков, обследованных, соответственно, в 2017 и 2018 гг.

Признаки	Деградированные участки, 2017 г. (n=15)	Малонарушенные участки, 2018 г. (n=24)	Результат сравнений
Число площадей с помётом / без помёта оленей	15/0	15/9	$\chi^2 = 5.35; P = 0.02$
Признаки состояния растительных сообществ			
Общее проективное покрытие, %	79±6	98±4	$F = 0.68; P = 0.41$
Проективное покрытие лишайников, %	33±9	5±2	$F = 17.70; P < 0.01$
Число видов сосудистых растений на 100 м ²	15±1	21±2	$F = 4.78; P = 0.04$

Примечание. Здесь и в табл. 2 приведены средние значения ± ошибка среднего; χ^2 – критерий хи-квадрат с поправкой Йейтса, P – уровень значимости, F – критерий Фишера.

Соотношение числа площадей с помётом и без помёта значимо различалось по критерию χ^2 , подтверждая, что мы, при выборе пробных площадей, правильно выделили деградированные (т.е. интенсивно посещаемые оленями) и менее деградированные, малонарушенные, участки (хотя бы часть из которых, вероятно, не посещалась оленями).

При повторном обследовании в 2019 г. на деградированных участках: снизилось покрытие лишайников и увеличилось число видов сосудистых растений; помёт оленей присутствовал на 14 из 16 площадей. На малонарушенных участках в 2019 г.: общее проективное покрытие снизилось; покрытие мхов и лишайников и число сосудистых видов увеличились; помёт оленей присутствовал на 16 из 24 площадей. Общее проективное покрытие не различалось ни в зависимости от нарушенности участков, ни в разные годы (табл. 2).

Таблица 2. Признаки состояния растительных сообществ деградированных и малонарушенных участков с учётом межгодовой изменчивости

Признаки	Деградированные участки (n=31)	Малонарушенные участки (n=48)	Факторы изменчивости		
			Нарушенность (df=1)	Год (df=1)	Год*нарушенность (d=1)
Общее проективное покрытие, %	75±4	85±3	$F=3.91$ $P=0.05$	$F=0.66$ $P=0.42$	$F=0.63$ $P=0.43$
Проективное покрытие лишайников, %	23±5	8±2	$F=13.09$ $P<0.01$	$F=4.45$ $P=0.04$	$F=14.18$ $P<0.01$
Число видов сосудистых растений на площади	17±1	23±1	$F=11.34$ $P<0.01$	$F=3.83$ $P=0.05$	$F=0.22$ $P=0.64$

Примечание. Фактор год представлен как переменная с двумя градациями: «2017–2018 гг.» (первое обследование) и «2019 г.» (повторное обследование).

Проективное покрытие лишайников значимо различалось в зависимости от степени нарушенности участков. В оба периода деградированные участки имели большее покрытие лишайников, чем малонарушенные; но в отношении этого признака выражена также межгодовая изменчивость. Число видов сосудистых растений на пробной площади не зависело от года описаний, оно было меньше на деградированных участках, и больше – на малонарушенных.

Кормовые запасы (рис. 1) на деградированных площадях от 2017 г. к 2019 г. увеличились в два раза и составили 8.7 ц/га. На малонарушенных площадях кормовые запасы от 2018 г. к 2019 г. уменьшились в 1.6 раз и составили 17.9 ц/га. Это, вероятно, может быть связано с особенностями условий вегетационных сезонов. В 2018 г. полевые работы

совпали с пиком значений NDVI, а в 2017 и 2019 гг. – не совпали, и пик развития растительности был позже.

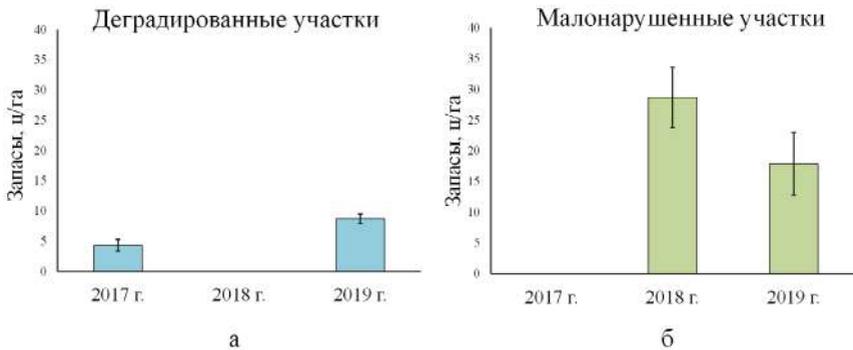


Рис. 1. Динамика кормовых запасов на дегradированных (а) и малонарушенных (б) участках. Вертикальные линии – ошибка среднего.

Кормовые ресурсы растительных сообществ в южных субарктических тундрах Ямала изучены значительно хуже, чем в арктических и северных субарктических тундрах. Усредненные данные по кормовым запасам южных субарктических тундр получены М.А. Магомедовой с коллегами в окрестностях фактории Хадыта в 90-е гг. (Магомедова и др., 2006). Авторы указали, что их исследования проводились на ненарушенных выпасом оленей участках. Методики сбора полевого материала были одинаковыми. Сопоставление оценок показало, что кормовые запасы ни на одной пробной площади в 2017–2019 гг. не превышали среднее значение запасов в 1990 г. (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растительные сообщества южных субарктических тундр Ямала в разной степени нарушены выпасом домашних северных оленей. На большинстве пробных площадей присутствуют следы выпаса и помёт оленей. При этом с ростом интенсивности воздействия снижается видовое богатство и обилие сосудистых растений. Кормовые запасы в обследованных сообществах 2017–2019 гг. варьировали в диапазоне 4–29 ц/га. Прослеживается закономерность уменьшения кормовых запасов при увеличении пастбищной нагрузки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЭРиЖ №АААА-А19-119031890084-6 и поддержана: в 2018 г. – Комплексной программой УрО РАН (проект № 18-9-4-22); в 2019 г. – Правительством ЯНАО и НП «Центр освоения Арктики».

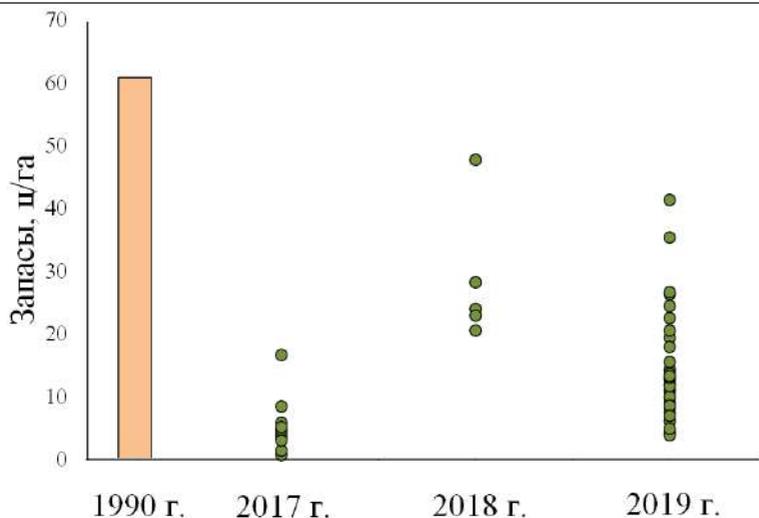


Рис. 2. Сравнение кормовых запасов в 2017–2019 гг. (каждая точка – среднее значение на одной пробной площади) со средним значением запасов в 1990 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белонская Е.А., Тишков А.А., Вайсфельд М.А. и др. «Позеленение» Российской Арктики и современные тренды изменения её биоты // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 3. С. 28–39.
- Горбунова А.М. Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 26–32.
- Колтащиков Л.А., Михайлов В.В., Мухачев А.Д. Экосистема: северные олени – пастбища – человек. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 336 с.
- Логинов В.Г., Игнатьева М.Н., Балащенко В.В. Вред, причиненный ресурсам традиционного природопользования, и его экономическая оценка // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 396–409.
- Магомедова М.А., Морозова Л.М., Эктова С.Н. и др. Полуостров Ямал: растительный покров. Тюмень, 2006. 360 с.
- Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. URL: <https://tumstat.gks.ru> (дата обращения 27.05.2021).
- Forbes B.C., Macias-Fauria M., Zetterberg P.I. Russian Arctic warming and ‘greening’ are closely tracked by tundra shrub willows // Global Change Biology. 2010. № 16. P. 1542–1554.

Сравнение эффективности отлова мелких млекопитающих двумя моделями давилок с крючком

А.В. Горшколепова

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: давилка, мелкие млекопитающие, землеройки, мышевидные грызуны

Отлов мелких млекопитающих (мышевидных грызунов и землероек) широко применяют в зоологических и экологических исследованиях. К числу наиболее распространенных ловушек относятся давилки, под которыми мы подразумеваем летальное самоловное механическое устройство с пружиной, смонтированное на плоской основе, убивающее зверька ударом металлической рамки (Толкачёв, 2019). Данные орудия отлова позволяют быстро получить необходимую выборку животных и/или охватить большое количество точек. Исследователям доступны разные модели давилок, различные по конструкции и используемым материалам, результатом чего может быть неодинаковая эффективность устройств, что затрудняет сопоставление результатов, полученных с их помощью. **Целью** данной работы было сравнение двух модификаций давилок с крючком (на деревянной или стальной основе) по уловистости и спектру учитываемых животных, разных по виду, весу или полу.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в августе 2019 г. в д. Шигаево Шалинского района Свердловской области на шести площадках. Использовали давилки с крючком на деревянной и стальной основе производства ООО «Средуралавтострой», г. Березовский, Свердловская обл., Россия. На каждой из шести площадок выставляли одну линию из 25 учётных станций с пятиметровыми интервалами. На каждой станции выставляли пару ловушек (деревянная и стальная), ориентированных в одну сторону. Учёт проводили в течение двух суток. При проверке ловушек фиксировали три возможных варианта исхода. Первый – отлов животного, в этом случае зверька забирали для взвешивания и определения вида. Второй вариант – «пролов», под которым мы понимаем ситуацию, когда приманка съедена или ловушка обнаружена

в сработавшем состоянии, но зверёк не пойман. Третий вариант – отсутствие зверька или пролова. Если выявлены признаки вмешательства нецелевых видов (ловушки перевернуты или перемещены), мы не учитывали результат данной пары давилок. Статистическая оценка различий по уловистости двух моделей давилок с учётом и без учёта проловов была проведена с помощью критерия χ^2 (по суммарному числу особей, отловленных давилками каждой модификации) и критерия Уилкоксона для связанных выборок (при сравнении показателей численности на площадках по данным, полученным деревянными или стальными ловушками). Для сравнения спектров учитываемых животных использовали логистическую регрессию. Использовали программный пакет STATISTICA 6.0, StatSoft Inc. для всех расчётов за исключением индексов разнообразия, которые вычисляли и сравнивались в программе PAST 4.03 (Hammer et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в ходе эксперимента в деревянные давилки попало 104, а в стальные 95 особей мелких млекопитающих. В ходе исследования были отловлены мелкие млекопитающие следующих видов: *Myodes glareolus* (Schreber, 1780), *Myodes rutilus* (Pallas, 1779), *Sylvaemus uralensis* (Pallas, 1811), *Sorex araneus* (Linnaeus, 1758), *Sorex isodon* (Turov, 1924), *Sorex caecutiens* (Laxmann, 1788), *Microtus agrestis* (Linnaeus, 1761), *Microtus arvalis* (Pallas, 1778), *Microtus oeconomus* (Pallas, 1776). Список и соотношение видов в отловах давилками двух моделей оказались, в основном, сходными. Различие было незначимым ($\chi^2 = 2.2$; $p > 0.05$; $df = 1$). Дополнительно мы проверили уловистость двух модификаций давилки в ряду площадок. Различия по показателям численности оказались незначимыми ($Z = 0.67$; $p = 0.50$; $n = 5$). В четырех случаях из шести деревянные ловушки отловили больше зверьков, чем стальные. Только на площадке №3 соотношение было обратным с кратной разницей в пользу стальных давилок. Но исключение этой точки не повлияло на первоначальный результат – различия остались незначимыми ($Z = 1.83$; $p = 0.07$; $n = 4$). Эта площадка стала единственной, на которой мы отметили вмешательство нецелевого вида (вероятно, белки). При учёте проловов показатель относительной численности достигал математического максимума или был близок к нему на всех площадках, а различия между ловушками остались незначимыми. Индексы разнообразия и выровненности Шеннона составляли для выборки, полученной стальными давилками: 1.32 и 0.68 соответственно; деревянными: 1.44 и 0.69. Различие индексов было незначимым ($p = 0.23$). Анализ линейных моделей видовой, половой и весовой избирательности стальных и деревянных ловушек показал, что между ними нет разницы по этим

параметрам даже при взаимодействии факторов. По размеру стальные давилки меньше деревянных – максимальные значения длины, ширины и высоты основания стальных ловушек: 120×58×1 мм; деревянных: 140×65×12 мм). Вес стальных давилок (60.2 ± 0.6 г) меньше, чем у сухих и влажных деревянных (74.5 ± 2.4 и 81.1 ± 2.2 г соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Протестированные модели давилок продемонстрировали сходную эффективность и являются взаимозаменяемыми. Данные, полученные ими, могут сопоставляться напрямую. С точки зрения эргономики и надежности, давилки на стальной основе имеют преимущества.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН. Работа частично поддержана грантом РФФИ 20-04-00164.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Толкачёв О.В.* Этимология некоторых названий ловушек, применяемых в исследованиях мелких млекопитающих // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 48. С. 73–96.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4. № 1. P. 1–9.

Песенная активность некоторых представителей птиц лесостепной зоны

С.В. Грачёв

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: песенная активность птиц, интенсивность пения птиц

Цель исследования – изучить суточную динамику активности пения модельных видов воробьеобразных и оценить влияние на неё погодных факторов.

Задачи:

1. Изучить песенную активность птиц;
2. Выявить суточную динамику активности пения для каждого вида;
3. Проанализировать зависимости динамики песенной активности от времени суток и некоторых климатических факторов.

Известно, что птицы поют в утренние часы интенсивнее, чем вечером, но не известно количественных наблюдений по этой теме. Поэтому мы решили изучить этот вопрос и провести количественные наблюдения за суточной динамикой песенной активности птиц.

Объекты исследования: самцы пеночки-теньковки *Phylloscopus collybita* (Vieillot, 1817), лесного конька *Anthus trivialis* (Linnaeus, 1758) и варакушки *Luscinia svecica* (Linnaeus, 1758).

Район исследования – лесостепная зона Курганской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования песенной активности проводили в полевые сезоны 2017, 2018 и 2020 годов (май–июнь) у всех видов параллельно в разные дни в разные промежутки времени. В совокупности временной диапазон наблюдений за песенной активностью у пеночки-теньковки и лесного конька составил с 3:00 до 21:00, у варакушки – с 0:00 до 23:00. Хронометраж пения каждого самца проводили из одной точки.

Продолжительность пения определяли на протяжении каждого часового промежутка времени, суммируя длительность песен. За одну песню принимали серию песенных фраз, повторяющихся с прибли-

зительно одинаковым интервалом, ограниченную предшествующим и последующим перерывом на молчание.

Анализ собранных данных по суточной динамике активности пения проводили, сравнивая данные по следующим параметрам:

- 1) Продолжительность пения;
- 2) Число песен в течение часа;
- 3) Продолжительность песни;
- 4) Число повторений песенной фразы в течение одной песни.

В качестве интегрального показателя, объединяющего все четыре параметра, было выбрано число повторений песенных фраз в минуту в течение часа, которое условно можно обозначить как «интенсивность пения».

Для статистического анализа использовали коэффициент линейной корреляции. Изучали зависимость интенсивности пения от времени суток, температуры воздуха, влажности воздуха и силы ветра (регистрацию погодных условий производили на месте наблюдения один раз в течение каждого часа наблюдений при помощи комбинированного термометра и гигрометра, силу ветра определяли визуально по шкале Бофорта). Материал представляет собой регистрации песен трёх модельных видов, собранный за три полевых сезона, совокупно – 47 дней наблюдений, для каждого вида проведено не менее восьми суточных наблюдений. Объём материала для корреляционного анализа составил для пеночки-теньковки – 144, для лесного конька – 137, для варакушки – 126 часовых регистраций пения и погодных факторов.

ТЕРМИНЫ

Пение – совокупность ритмического повторения птицей системы звуковых сигналов в течение определённого периода времени.

Песня – серия песенных фраз.

Песенная фраза (далее «ПФ») – элементарная и неделимая совокупность видоспецифичных звуков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

- У пеночки-теньковки и лесного конька наблюдается умеренная отрицательная корреляция интенсивности пения от времени суток ($r = -0.43, p < 0.01$ и $r = -0.44, p < 0.01$, соответственно);
- Также умеренная корреляция наблюдается между интенсивностью пения пеночки-теньковки и влажностью воздуха ($r = 0.44, p < 0.01$), у лесного конька эта зависимость носит слабовыраженный характер ($r = 0.25, p < 0.01$);
- Слабая отрицательная зависимость отмечена между показателями интенсивности пения и температуры воздуха у пеночки-теньковки

и лесного конька ($r = -0.22, p < 0.01$ и $r = -0.24, p < 0.01$, соответственно).

- У варакушки не отмечено значимой зависимости песенной активности ни от одного из исследуемых факторов (время суток: $r = -0.09, p > 0.05$; температура воздуха: $r = 0.07, p > 0.05$; влажность воздуха: $r = -0.05, p > 0.05$; сила ветра: $r = 0.17, p > 0.05$).

Так как в нашем исследовании проводилось 12 одинаковых корреляционных анализов, то репрезентативные результаты нуждаются в применении поправки Бонферрони, как самого простого статистического инструмента контроля над групповой вероятностью ошибки. По результатам расчётов получили следующее: $0.01 \cdot 12 = 0.12 > 0.05$, следовательно, все репрезентативные гипотезы с уровнем значимости $p < 0.01$ принимаются.

ВЫВОДЫ

1. У двух из трёх изученных представителей воробьеобразных наблюдается связь между интенсивностью пения и временем суток, а также некоторыми погодными условиями.
2. Интенсивность пения от погодных факторов зависит слабо. Очевидно, по большей части она зависит от других факторов, но всё же в большей степени от времени суток.
3. Анализ песенной активности варакушки не показал значимой корреляции интенсивности пения с исследуемыми факторами. Это говорит о том, что исследуемые факторы не оказывают никакого влияния на динамику суточной активности пения данного вида. От времени суток интенсивность пения варакушки не зависит.

Микробиологический анализ состояния озёр с высокой антропогенной нагрузкой

Е.В. Девятова, С.В. Андреева, Ю.Ю. Филиппова, Д.Ю. Нохрин

Челябинский государственный университет, г. Челябинск

Ключевые слова: микробные сообщества водоёмов, озёра г. Челябинска, условно-патогенные микроорганизмы, антибиотикорезистентность, санитарно-показательные микроорганизмы

Микроорганизмы обладают высокой скоростью реагирования на изменение условий среды, служат индикатором качества вод и состояния экосистемы (Lee, Kim, 2016). Загрязнение водоёмов промышленными и бытовыми стоками ведет к изменению гидрохимического режима, нарушению естественного микробного состава водных объектов и увеличению концентрации условно-патогенных микроорганизмов, что значительно повышает риск распространения инфекционных заболеваний, передаваемых пищевым и водным путями (McLellan et al., 2015). Также, в связи с широким использованием антимикробных препаратов в медицине, аквакультуре и в ветеринарии, в водоёмах могут циркулировать штаммы устойчивых к антибиотикам бактерий. Попадая в озёра со сточными водами, антибиотикорезистентные бактерии вносят существенный вклад в формирование резистомы (совокупности генов устойчивости к антибиотикам у патогенов, комменсалов и свободно живущих в окружающей среде бактерий). В свою очередь, патогенные бактерии могут получать гены устойчивости из резистомы путем горизонтального переноса (конъюгации, трансформации, трансдукции) (Виноградова, 2013). Следовательно, наряду с изучением физико-химических показателей воды, важной и актуальной задачей является определение видовой структуры и свойств микробиоты водоёмов.

Озёра Смолино, Первое и Шершнёвское водохранилище являются важными рекреационными водоёмами, а Шершнёвское водохранилище – единственным источником питьевого водоснабжения г. Челябинск и ряда населенных пунктов в его окрестностях. Однако указанные водоёмы испытывают значимую антропогенную нагрузку, поскольку принимают разнообразные сточные воды – сбросы промышленных

предприятий и ливневой канализации, воды очистных сооружений, а также аэральные выбросы предприятий и автомагистралей (Захаров, 2010). Трофический статус водоёмов Смолино и Первое характеризуют как мезотрофный, а у Шершнёвского водохранилища отмечают переход из многолетнего устойчивого мезотрофного состояния в эвтрофное (Nokhrin et al., 2020). Озёра Смолино, Первое и Шершнёвское водохранилище испытывают сильное антропогенное влияние, что отражается на составе бактериальных сообществ. Микробиологическая оценка качества воды водоёмов позволит дать экологическую и эпидемическую характеристику водных объектов и сформировать подходы к улучшению её состояния.

Цель исследования – проведение микробиологического анализа состояния озёр, расположенных в черте г. Челябинска: Смолино, Первое и Шершнёвского водохранилища. **Задачи** исследования: 1) оценить количество санитарно-показательных микроорганизмов; 2) определить видовой состав микробных сообществ в воде озёр Смолино, Первое и Шершнёвского водохранилища; 3) определить наличие в воде водоёмов условно-патогенных бактерий и уровень их антибиотикорезистентности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование было проведено в июле и октябре 2020 г. Координаты точек отбора проб представлены на рис. 1. Всего было отобрано 14 проб воды (по две пробы с каждого участка). Забор воды производили с поверхностного горизонта в стерильные полипропиленовые бутылки с учётом требований асептики. Микробиологический анализ проводили в учебной лаборатории микробиологии и иммунологии биологического факультета ЧелГУ на базе бактериологической лаборатории МБУЗ ГКБ № 6. Исследование некультивируемых и медленно растущих микроорганизмов проводили на базе учебной лаборатории «Инновационных биотехнологий» биологического факультета ЧелГУ.

Концентрацию проб воды проводили методом мембранных фильтров на приборе вакуумного фильтрования ПВФ 43/3 НБ (ООО «Баромембранная технология», Россия) с использованием целлюлозных мембран с диаметром дисков 47 мм, с размером пор 0.22 мкм (Millipore, США).

Определение общего микробного числа (ОМЧ), бактерий группы кишечной палочки (БГКП), сульфитредуцирующих клостридий (СРК), условно-патогенных и патогенных бактерий проводили в соответствии с методическими рекомендациями (МУК 4.2.1884-04; ГОСТ 18963-73).



Рис. 1. Точки отбора проб.

Для получения информации о наличии в воде некультивируемых, медленно растущих и трудно культивируемых микроорганизмов применяли метод газовой хроматографии – масс-спектрометрии микробных маркеров (ГХ-МСММ), предложенный Г.А. Осиповым (Osipov et al., 2009).

Чувствительность к антибактериальным препаратам определяли диско-диффузионным методом в соответствии с клиническими рекомендациями «Определение чувствительности микроорганизмов к antimикробным препаратам» (Версия 2015.02). Антибиотикорезистентность, связанную с синтезом бета-лактамаз расширенного спектра, устанавливали фенотипическим тестом «Метод двойных дисков» (МУК4.2.1890-04). У выделенных из воды штаммов энтеробактерий определяли чувствительность к ампициллину, меропенему, левофлоксацину, цефтазидиму, амоксиклаву и цефотаксиму. Выбор антибиотиков был обусловлен тем, что эти препараты наиболее часто используются в клинической практике для лечения инфекций человека, вызванных условно-патогенными энтеробактериями.

В качестве справочного материала для оценки результатов использовали государственные стандарты, регламентирующие требования к качеству воды (СанПиН 2.1.5.980-00, СанПиН 2.1.4.10-74).

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программ MS Excel 2016 и PAST 4.02. Доверительный интервал был рассчитан методом Клоппера-Пирсона. Для графического отображения данных и построения таблиц использовали программу MS Excel 2016 и пакет KyPlot (v. 2.15).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Санитарно-микробиологический анализ воды

По результатам микробиологического исследования воды в летне-осенний период количественные показатели ОМЧ варьировали в широких пределах (рис. 2).

На графике видно, что в пробах, отобранных в июле, ОМЧ в оз. Смолино было статистически значимо ниже, чем в октябре. Иная картина зафиксирована в Шернёвском вдхр. и оз. Первое, летом ОМЧ выше, чем в осенний период. Этот показатель не регламентируется нормативной документацией для поверхностных вод, т.к. зависит от множества факторов, например, гидрохимических показателей воды, температуры, развития фито- и зоопланктона и т.д. Однако для питьевой воды установлен норматив не более 50 КОЕ/мл.

Наибольшее количество ОМЧ было выявлено в пробах воды на оз. Смолино и Первое. Значительное превышение этого показателя свидетельствует о сильном загрязнении водоёмов органическими веществами и о возможном присутствии в воде патогенов.

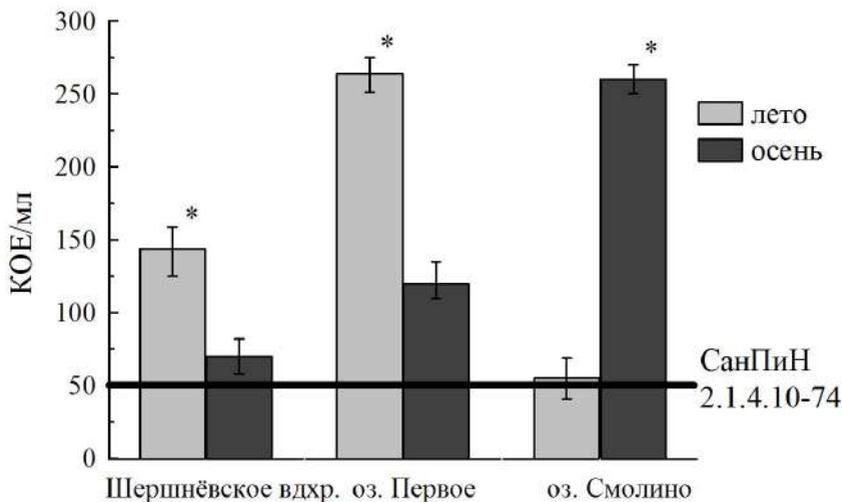


Рис. 2. ОМЧ в пробах воды в летний и осенний сезоны (среднее \pm 95% ДИ. * – значимые различия между летним и осенним сезонами по критерию Манна – Уитни при $P \leq 0.05$).

На рис. 3 показано усреднённое количество БГКП в летний и осенний сезон. В летний период количество БГКП было значительно ниже, чем в осенний. По данному показателю исследуемые водоёмы соответствовали норме для рекреационного водопользования, где норматив показателя не должен превышать 500 КОЕ/100 мл воды, но не

соответствовали нормативам для питьевого водоснабжения, где в 100 мл воды не должны быть обнаружены БГКП. Представители данной группы являются микроорганизмами нормальной микробиоты желудочно-кишечного тракта человека и животных, поэтому превышение этих микроорганизмов в воде может говорить о свежем фекальном загрязнении воды и эпидемической опасности в отношении кишечных инфекций.

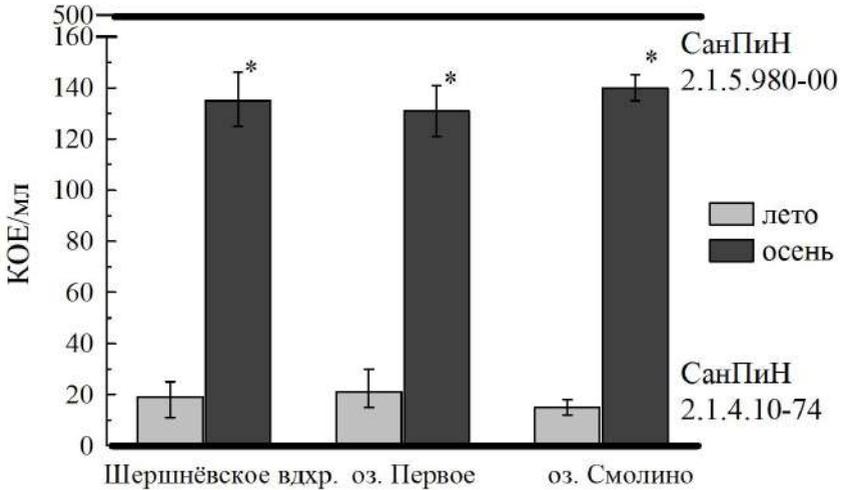


Рис. 3. БГКП в пробах воды в летний и осенний сезоны (среднее \pm 95% ДИ.
* – значимые различия между летним и осенним сезонами по критерию Манна – Уитни при $P \leq 0.05$).

В воде всех исследованных водоёмов были обнаружены споры СРК, наличие которых в воде может свидетельствовать о давнем фекальном загрязнении водоёмов.

Патогенные бактерии родов *Salmonella*, *Shigella*, *Listeria* и *Vibrio-cholerae* в воде исследованных водоёмов не обнаружены.

Оценка видового состава микробных сообществ

Всего (с помощью ГХ-МСММ и культурального метода) было идентифицировано 34 операционных таксономических единицы (ОТЕ), относящихся к 4 типам бактерий и царству грибов. Из них 18 ОТЕ были определены до вида, 16 – до рода.

Наиболее распространёнными были 15 таксонов микроорганизмов, которые были обнаружены во всех 14 пробах (100%) и относились к типам Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes и царству Fungi. Высокий процент встречаемости представителей типов Firmicutes, Actinobacteria

и Fungi закономерен, поскольку они являются автохтонной микробиотой, представленной естественными сапрофитами водоёмов, и обеспечивают разложение широкого спектра органических и неорганических соединений, поддерживая стабильность водной экосистемы (Butler et al., 2019). Процентное соотношение различных групп микроорганизмов представлено в таблице.

Таблица. Процентное соотношение различных групп микроорганизмов в исследуемых водоёмах (Доля, % – среднее [95% ДИ])

Таксон	Шершнёвское вдхр.	оз. Смолино	оз. Первое
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	50.7[49.4–52.0]	18.6[17.2–20.0]	43.9 [42.4–45.4]
Actinobacteria: <i>Actinomyces</i> spp./ <i>Propionibacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium</i> spp. / <i>Pseudonocardia</i> spp. / <i>Rhodococcus</i> spp. / <i>Streptomyces</i> spp.	20 [19.3–21.4]	23.4 [21.9–24.9]	21.9 [20.7–23.2]
<i>Clostridium</i> spp.	12.2 [11.4–13.1]	21.1 [19.7–22.6]	14.7 [13.7–15.8]
<i>Streptococcus</i> spp.	10 [9.4–10.9]	17.2 [15.9–18.6]	9.4 [8.5–10.3]
УПМ: <i>Enterococcus</i> spp / <i>Staphylococcus aureus</i> / <i>Staphylococcus epidermidis</i>	2.5[2.1–2.9]	3.3 [2.7–4.0]	2.3 [1.8–2.8]
<i>Bacillus cereus</i> / <i>Bacillus megaterium</i>	1.9[1.6–2.3]	3.6 [3.0–4.3]	2.5 [2.0–3.0]
Fungi	0.7[0.5–1.0]	2.4 [1.9–3.0]	1.1 [0.8–1.4]
Bacteroides – <i>Prevotella</i>	0.6 [0.4–0.9]	3.2 [2.6–3.8]	1.6 [1.3–2.1]
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.2 [0.1–0.4]	2.4 [1.9–3.0]	0.3 [0.2–0.5]
<i>Moraxella</i> spp./ <i>Acinetobacter</i> spp.	0.1 [0.0–0.1]	0.3 [0.2–0.6]	0.6 [0.4–0.9]
<i>Ruminococcus</i> spp.	0 [0.0–0.0]	3.5 [2.9–4.0]	1.0 [0.7–1.4]
<i>Kingella</i> spp.	0.6 [0.4–0.8]	0.9 [0.6–1.3]	0.6 [0.4–0.9]
<i>Clostridium perfringens</i>	0.1 [0.1–0.2]	0.1 [0.1–0.2]	0.1 [0.0–0.3]

Во всех водоёмах были обнаружены такие представители автохтонной микробиоты, как *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium* spp., являющиеся естественными биоремедиаторами. Так, например, для бактерий рода *Bacillus* и *Clostridium* характерна способность редуцировать нитраты в воде, удалять нефтяные пятна, использовать тяжёлые металлы для образования спор. Бактерии *P. aeruginosa*, несмотря на потенциальную опасность для людей с ослабленным иммунитетом, в водоёмах выполняют важную экологическую роль: удаляют нефтяные загрязнения, утилизируют нитраты, используют тяжёлые металлы для синтеза собственных белков (Rajakumar et al., 2018; Huang et al., 2017; Tanzadeh et al., 2020). Таким образом, наличие в воде данных микроорганизмов может способствовать самоочищению водоёмов.

Наряду с автохтонной микробиотой, во всех точках отбора проб были выделены представители аллохтонной микробиоты. Из всех исследованных водоёмов были выделены такие индикаторы свежего фекального загрязнения, как *Bacteroides-Prevotella*, представители сем. Enterobacteriaceae (*Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter* spp., *Proteus* spp.) и энтерококки (*Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus* spp.). Стоит уточнить, что некоторые виды энтеробактерий, попадая в окружающую среду, способны размножаться при наличии органических веществ. Например, *Klebsiella pneumoniae* способна к размножению при наличии целлюлозы, поэтому её присутствие в воде не всегда позволяет судить о фекальном загрязнении, в то время как обнаружение *Escherichia coli* чётко указывает на свежее фекальное загрязнение, поскольку она не размножается в воде открытых водоёмов.

Обнаруженные во всех пробах бактерии *Clostridium perfringens*, являющиеся универсальным компонентом кишечника человека и хищных животных, также являлись аллохтонными микроорганизмами, поскольку они не способны к размножению в окружающей среде (Cabral, 2010). Их споры способны длительное время сохраняться в воде, поэтому они служат высокоспецифичным индикатором давнего фекального загрязнения.

Таким образом, не смотря на сохранение естественной сапрофитной флоры, в норме ограничивающей рост спорадически проникающих в водоёмы патогенов, в исследованных водоёмах сформировались новые микробные сообщества, состоящие из не типичных для них, в том числе фекальных, бактерий. То есть антропогенное преобразование озёр привело к «гуманизации» естественного состава микробного биоценоза водоёмов.

Наиболее редкими и преимущественно специфичными для водоёмов микроорганизмами были представители типа Proteobacteria: *Vibrio anguillarum*, *Proteus mirabilis*, *Morganella morganii* (встречались только в оз. Первое), *Aeromonas* spp. (оз. Смолино), *Citrobacter freundii* (Шершнёвское вдхр.). Дрожжеподобные грибы рода *Candida* spp. зафиксированы только в оз. Смолино.

Обнаружение вибрионов, предпочитающих солёные воды, в озёрах Смолино и Первое объясняется тем, что эти водоёмы ранее обладали высокой природной солёностью. Несмотря на антропогенное опреснение, они сохранили свойственный им в естественных условиях гидрхимический класс вод. В исследованных пробах воды оз. Смолино и Первое, кроме *Vibrio anguillarum* были выявлены *Vibrio parahaemolyticus*, которые являются условно-патогенными микроорганизмами и могут вызвать серьёзную клинику у людей с ослабленным иммунитетом. Также в пробах воды оз. Смолино обнаружены представители рода *Aeromonas*, вызывающие заболевания у гидробионтов и пищевые отравления у людей.

Антибиотикорезистентность

Выделенные из воды открытых водоёмов штаммы микроорганизмов семейства Enterobacteriaceae (27) родов *Morganella*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Escherichia*, *Proteus*, *Enterobacter*, были протестированы на чувствительность к антибиотикам.

Среди всех исследованных энтеробактерий к ампициллину были устойчивы 30% штаммов, к амоксиклаву 18.5%, а также была отмечена умеренная устойчивость к цефтазидиму у 3.7% штаммов. Все выделенные изоляты энтеробактерий сохраняли 100% чувствительность к меропенему, цефотаксиму и левофлоксацину. Наличие бета-лактамаз расширенного спектра у исследованных штаммов энтеробактерий не выявлено. Таким образом, из воды открытых водоёмов чаще всего выделяли штаммы энтеробактерий, устойчивые к антибиотикам пенициллинового ряда. Это очень серьёзная ситуация, так как антибиотики пенициллинового ряда довольно продолжительное время используют в медицинской практике для терапии самых разнообразных инфекций: органов дыхательных путей, мочевыделительной системы, кожи, мягких тканей и многих других. Выделение из воды открытых водоёмов бактерий, устойчивых к антибиотикам, может свидетельствовать об их широком распространении не только в клинической практике, но и во внешней среде. Вода исследованных водоёмов может быть потенциальным источником генов устойчивости и местом эволюции устойчивости к анти-

биотикам, поскольку присутствующие в воде автохтонные бактерии смешиваются и обмениваются генетическим материалом (гены, мобильные элементы) с аллохтонной микробиотой различного происхождения.

ВЫВОДЫ

1. По санитарно-эпидемиологическим показателям водоёмы соответствовали норме для рекреационного водопользования и не соответствовали норме для питьевого водопользования.
2. В пробах воды были выявлены различные микробные сообщества, относенные как к автохтонной, так и к аллохтонной микробиоте.
3. Во всех исследованных водоёмах г. Челябинска обнаружены антибиотикорезистентные штаммы условно-патогенных энтеробактерий. Чаще всего резистентность проявляли к клинически значимым бета-лактамным антибиотикам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Челябинской области в рамках научного проекта № 20-44-740003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа (с изменениями № 1, 2).
- Клинические рекомендации «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам» (Версия 2015.02) URL: <https://www.antibiotic.ru/files/321/clrec-dsma2015.pdf> (Дата обращения 11.01.2021)
- МУК 4.2.1884-04 Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов.
- МУК 4.2.1890-04 Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам.
- СанПиН 2.1.4.10-74 Питьевая вода и водоснабжение населённых мест.
- СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
- Виноградова К.А., Булгакова В.Г., Полин А.Н., Кожевин П.А.* Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам: резистоста, её объём, разнообразие и развитие // Антибиотики и химиотерапия. 2013. Т. 58. № 5–6. С. 38–48.
- Захаров С.Г.* «Озёра Челябинской области» учебное пособие: Челябинск: АБРИС, 2010. 127 с.
- Butler T. M., Wilhelm A.C.* Microbial Community Dynamics During Lake Ice Freezing. // Scientific reports. 2019. Vol. 9. № 1. P. 1–11.

- Cabral J.P.* Water microbiology. Bacterial pathogens and water // International journal of environmental research and public health. 2010. Vol. 7. № 10. P. 3657–3703.
- Huang L., Zhao T.* Bioremediation of oil-contaminated field by two *Pseudomonas aeruginosa* strains // Chinese journal of biotechnology. 2017. Vol. 33. № 6. P. 957–967.
- Lee C.S., Kim M., Lee C.* et al. The Microbiota of Recreational Freshwaters and the Implications for Environmental and Public Health // Frontiers in microbiology. 2016. Vol. 7. P. 1–15.
- McLellan S.L., Fisher J.C., Newton R.J.* The microbiome of urban waters// International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology. 2015. Vol. 18. № 3. P. 141–149.
- Nokhrin D.Yu., Gribovsky Yu.G., Davydova, N.A., Korlyakov K.A.* Sher-shnevskoe Reservoir (chapter 4) // Ecological and veterinary-sanitary state of water reservoirs in the Chelyabinsk region: monograph. Ekaterinburg-Barnaul, Russia: New format. 2020. P. 68–93.
- Osipov G.A. Boiko N.B., Fedosova N.Y.* et al. Comparative gas chromatography-mass spectrometry study of the composition of microbial chemical markers in feces // Microbial Ecology in Health and Disease. 2009. Vol. 21. № 3–4. P. 159–171.
- Rajakumar S., Ayyasamy P.M.* Nitrate removal efficiency of bacterial consortium (*Pseudomonas* sp. KW1 and *Bacillus* sp. YW4) in synthetic nitrate-rich water // Journal of hazardous materials. 2008. Vol. 157. № 2–3. P. 553–563.
- Tanzadeh J., Ghasemi M. F., Anvari M., Issazadeh K.* Biological removal of crude oil with the use of native bacterial consortia isolated from the shorelines of the Caspian Sea // Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2020. Vol. 34. № 1. P. 361–374.

Особенности выделения и идентификации крахмальных зёрен в семенах некоторых представителей сем. Fabaceae

А.С. Дёмина^{1,2}, В.А. Калинкина³

¹ Институт истории, археологии и этнографии народов ДВО РАН, г. Владивосток

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

³ ФГБУН Ботанический сад-институт ДВО РАН, г. Владивосток

Ключевые слова: бобовые, крахмал, палеоэкология

Крахмал – это сложная углеводная структура, синтезируемая растениями. В отличие от временного, постоянный крахмал откладывается в многолетних органах растений, таких как корни, корневища, клубни, луковицы, семена и др. (Perez et al., 2009). Растения с древних времен являются одним из основных источников пищи человека. Микрочастицы растительного сырья можно найти на керамической посуде, датируемой разным временем. Часто такими частицами являются зёрна крахмала, имеющие довольно стабильную структуру и сохраняющиеся в неизменном виде на протяжении тысяч лет (Torrence et al., 2006). Учитывая то, что структура крахмальных зёрен обусловлена генетически, можно предположить, что крахмальные зёрна видоспецифичны (Perez et al., 2009). В таком случае изучение их структуры может решить многие вопросы при анализе исторического ареала видов, процессов их расселения, а также палеодиеты и палеоэкологии человека в целом (Reichert, 1913). **Целью** данной работы стал анализ структуры крахмальных зёрен некоторых представителей сем. Fabaceae для возможной идентификации таксонов внутри семейства. Основная **задача**: выделить и проанализировать структуру крахмальных зёрен в семенах некоторых дальневосточных бобовых. Материалом для исследования послужили семена 58 видов из 16 родов сем. Fabaceae. Идентификация крахмальных зёрен проводилась с использованием белого и тёмного поля, а также DIC-контраста на оптическом микроскопе Axio Scope.A1. Для каждого вида было измерено и описано по 100 крахмальных зёрен. Для анализа данных использовали пакет «Статистика» в Excel. Крахмальные зёрна были обнаружены в семенах только 4 родов – *Hedysarum* L., *Vicia* L., *Sophora* L. и *Trifolium* L. Их отсутствие в остальных родах мы

связываем с качеством, зрелостью и сроком сбора материала. Основными отличительными параметрами крахмальных зёрен являются их длина, ширина и площадь, двумерная и трёхмерная формы зёрна, видимость хилума и ламелей, наличие или отсутствие складок и трещин, а также тип поляризационного креста и форма лучей поляризационного креста. Наиболее показательными признаками выступают размерные величины, форма крахмального зерна, характеристики поляризационного креста и степень видимости хилума. Полученные данные могут быть использованы в процессе анализа археологического материала для идентификации растений, однако идентификация видов в пределах рода не всегда возможна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Perez S., Baldwin P.M., Gallant D.J.* Structural Features of Starch Granules I // *Starch: Chemistry and Technology*. Amsterdam: Academic Press, 2009. P. 149–192.
- Reichert E.T.* The Differentiation and Specificity of Starches in Relation to Genera, Species. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington, 1913. 900 p.
- Torrence R., Barton H.* Ancient Starch Research // Walnut Creek, California: Left Coast Press, 2006. 256 p.

Стабильные изотопы углерода и азота в костях позднеплейстоценовых лошадей Западной Сибири

Ю.Э. Дружинина¹, Н.А. Пластеева²

¹ Уральский государственный педагогический университет, г. Екатеринбург

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: Западная Сибирь, лошади, поздний плейстоцен, стабильные изотопы

В основе метода изотопного анализа лежит феномен фракционирования живыми организмами изотопов в процессах метаболизма. Как следствие, изотопное соотношение в тканях отличается от исходного соотношения изотопов в пище, потребляемой животными. Анализ соотношения стабильных изотопов, в частности углерода и азота, в тканях животных позволяет получить информацию об особенностях рациона и условий обитания современных и вымерших видов млекопитающих (DeNiro, 1987; Ambrose, 1993; Bocherens, 2005).

Цель настоящей работы – изучить рацион позднеплейстоценовых лошадей юга Западной Сибири и сопоставить полученные результаты с известными данными для диких и домашних лошадей Северной Азии и Северной Америки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения рациона и условий обитания лошадей в позднем плейстоцене мы использовали метод анализа соотношения стабильных изотопов углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) и азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) в костном коллагене 15 особей лошадей *Equus ferus* из семи местонахождений на юге Западной Сибири. Два местонахождения – грот Проскуракова в Кузнецком Алатау и пещера Логово Гиены на северо-западном Алтае – представляют собой карстовые полости. Остальной костный материал получен из местонахождений открытого типа – Иртыш, Тараданово, Красный Яр, Чик, Чумыш, которые расположены на берегах рек Иртыш, Обь и её притоков. Фаунистический состав костного материала из изученных местонахождений и большинство радиоуглеродных дат соответствует каргинскому интерстадиалу позднего плейстоцена (изотопно-кислородная стадия 3, ИКС 3, 58–24 тыс. л.н.).

Данные по соотношению изотопов в костной ткани лошадей Алтая, Кузнецкого Алатау и Приобского плато получены впервые (12 образцов), данные для лошадей из местонахождения Иртыш уже известны (Rabanus-Wallace et al., 2017). Для сравнения рациона лошадей в разные временные отрезки в разных географических областях мы использовали литературные данные по изотопному составу коллагена домашних лошадей из археологических памятников Западной Сибири (Hanks et al., 2018; Svyatko et al., 2013) и Якутии (Romanova et al., 2019), позднелайстоценовых (ИКС 3) лошадей Среднего Урала (Rabanus-Wallace et al., 2017), Якутии (ДиМаттео и др., 2013) и Аляски (Mann et al., 2013).

Образцы для анализа брались от костей конечностей взрослых особей лошадей. Соотношение стабильных изотопов в образцах измеряли на изотопном масспектрометре Delta V Plus, Thermo в Центре коллективного пользования Института проблем экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова. Аналитическая точность определения изотопного состава составила $\pm 0.15\%$. Изотопный состав оценивали через отклонение изотопного соотношения образца от известного отношения для единого международного стандарта. Различие в изотопном соотношении обозначается как $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ и выражается в ‰.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения $\delta^{13}\text{C}$ в костном коллагене (таблица) подтверждает, что рацион древних лошадей юга Западной Сибири состоял преимущественно из растений С3-типа (Vocherens, 2015). Достаточно высокое среднее значение $\delta^{15}\text{N}$ указывает на питание лошадей травянистой растительностью с высоким содержанием изотопного соотношения азота – злаками (Vocherens, 2015).

Таблица. Средние значения и пределы вариации изотопного соотношения углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в костном коллагене лошадей *Equus ferus* Западной Сибири, ‰

N	$\delta^{13}\text{C}$, ‰		$\delta^{15}\text{N}$, ‰	
	M \pm σ	Min – Max	M \pm σ	Min – Max
15	-20.4 ± 0.27	-20.8 ... -20.0	5.2 ± 1.52	3.2 ... 8.1

Среднее значение $\delta^{13}\text{C}$ у исследованных лошадей Западной Сибири составило -20.4 ‰, что характерно для травоядных открытых ландшафтов.

Распределение значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для позднелайстоценовых лошадей Западной Сибири в значительной мере перекрывает область варьирования значений для позднелайстоценовых лошадей Среднего Урала, и для разводившихся в древности домашних лошадей Западной Сибири (рисунок).

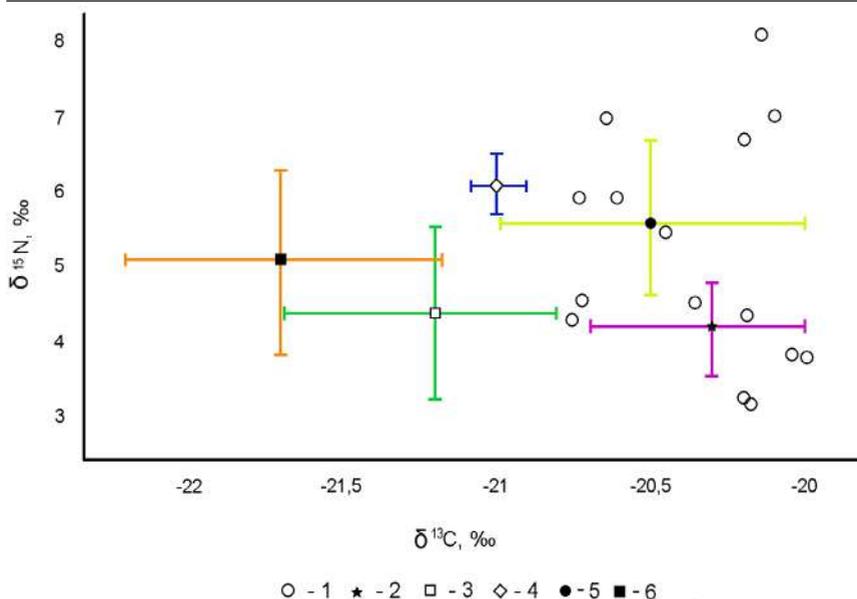


Рисунок. Пределы варьирования значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ коллагена лошадей Северной Азии и Северной Америки, ‰ ($M \pm 95\%$ Conf.). Дикая лошадь, поздний плейстоцен: 1 – Западная Сибирь, 2 – Средний Урал, 3 – Якутия, 4 – Аляска; Домашняя лошадь, голоцен: 5 – Западная Сибирь, 6 – Якутия.

Позднеплейстоценовые лошади Западной Сибири статистически значимо различны по изотопному соотношению углерода от позднеплейстоценовых лошадей Якутии и Аляски, а также от древних домашних лошадей из Якутии. Различия в изотопном составе рассмотренных групп указывают на разнообразие рациона лошадей и условий среды, в которой они обитали. Существует обратная корреляция между среднегодовой температурой, уровнем влажности климата и значениями $\delta^{13}\text{C}$ в коллагене животных (Heaton et al., 1986). Более высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ для лошадей позднего плейстоцена юга Западной Сибири свидетельствуют об их обитании в более аридных, по сравнению с лошадьми Якутии и Аляски, условиях. С выводом согласуются и наши результаты фаунистического анализа, которые демонстрируют преобладание в исследуемом регионе видов открытых пространств (Пластева, Васильев, 2017).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны к.б.н. С.К. Васильеву (ИАЭТ СО РАН, г. Новосибирск) за предоставленный материал. Работа выполнена в рамках

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ди Маттео А., Кузнецова Т.В., Николаев В.И.* и др. Изотопные исследования костных остатков якутских плейстоценовых лошадей // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 93–101.
- Платеева Н.А., Васильев С.К.* Фаунистическое окружение лошади Оводова в позднем плейстоцене // Фауна Урала и Сибири. 2017. Т. 2. С. 204–214.
- Ambrose S.* Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. In: Investigations of ancient human tissue: Chemical analyses in anthropology. Philadelphia: Gordon and Breach Science Publishing, 1993. P. 59–130.
- Bocherens H.* Isotopic tracking of large carnivore palaeoecology in the mammoth steppe // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 117. P. 42–71.
- DeNiro M.J.* Stable isotope and archaeology // American Scientist. 1987. Vol. 75. № 2. P. 182–191.
- Hanks B., Ventresca Miller A., Judd M.* et al. Bronze Age diet and economy: New stable isotope data from the Central Eurasian steppes (2100–1700 BC) // Journal of Archaeological Science. 2018. Vol. 97. P. 14–25.
- Heaton T.H.* Spatial, species, and temporal variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of C_3 plants: implications for palaeodiet studies // Journal of Archaeological Science. 1999. Vol. 26. P. 637–649.
- Mann D.H., Groves P., Kunz M.L.* et al. Ice-age megafauna in Arctic Alaska: extinction, invasion, survival // Quaternary Science Reviews. 2013. Vol. 70. P. 91–108.
- Rabanus-Wallace M.T., Wooller M.J., Zazula G.D.* et al. Megafaunal isotopes reveal role of increased moisture on rangeland during late Pleistocene extinctions // Nature Ecology and Evolution. 2017. Vol. 1(5). P. 1–5.
- Romanova L., Balter V., Simon L.* et al. Diet of autochthonous populations in Yakutia using isotopic, ethnographic, historical and archaeological data // Journal of Archaeological Science: Reports. 2019. Vol. 28(3). P. 1–23.
- Svyatko S.V., Schulting R.J., Mallory J.* et al. Stable isotope dietary analysis of prehistoric populations from the Minusinsk Basin, Southern Siberia, Russia: a new chronological framework for the introduction of millet to the eastern Eurasian steppe // Journal of Archaeological Science. 2013. Vol. 40 (11). P. 3936–3945.

Трансформация светового режима в зарослях инвазивного *Acer negundo* L.

Д.И. Дубровин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: биологические инвазии, инвазивные растения, клен ясенелистный, конкуренция за свет, факторы инвазивности

Биологические инвазии – глобальная экологическая проблема (Gioria, Osborne, 2014). Большое внимание уделяется исследованиям последствий расселения инвазивных видов на новых территориях, таких как снижение разнообразия сообществ-реципиентов (Richardson et al., 2000; Vila et al., 2011). Помимо снижения разнообразия, некоторые инвазивные виды способны нарушать связи в экосистемах, заметно изменяя условия существования других видов. Такие виды называют видами-трансформерами. Их важная особенность – повышенная конкурентоспособность за ресурсы (Gioria, Osborne, 2014). Виды-трансформеры способны изменять условия освещения (Niinemets, 2010; Schuster, Reich, 2018), круговорот элементов минерального питания (Gioria, Osborne, 2014) и другие характеристики сообществ и экосистем. Важный вопрос об инвазивных видах – вопрос об особенностях, которые позволяют им влиять на сообщества-реципиенты.

Свет – ключевой ресурс, определяющий организацию растительных сообществ. Для некоторых инвазивных растений характерна повышенная конкурентоспособность за свет, выраженная в формировании густого полога листьев (Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Cusack, McCleery, 2014; Berg et al., 2017). Хотя неоднократно подтверждено, что трансформация светового режима – реальный механизм инвазивности растений (Reinhart et al., 2006; Nilsson et al., 2008; Bravo-Monasterio et al., 2016), действие этого механизма проявляется не всегда (Lanta et al., 2013; Dyderski, Jagodzinski, 2019). Поэтому способность влиять на сообщества-реципиенты путем эффективного перехвата света требует отдельной проверки для каждого чужеродного вида.

Инвазивный для Евразии североамериканский клен ясенелистный *Acer negundo* L. считается видом-трансформером. Он активно

расселяется в урбанизированных и полустественных местообитаниях, нередко формируя моновидовые заросли (Виноградова и др., 2010). В сообществах с доминированием *A. negundo* показано меньшее α - и γ -разнообразие травянистых растений, чем в сообществах с доминированием других видов деревьев (Дубровин, 2018; Веселкин, Дубровин, 2019).

Результаты оценок перехвата света кронами *A. negundo* неоднозначны. В части работ установлено, что он формирует более сильное затенение (Saccone et al., 2010), в других исследованиях отличия в затенении напочвенного покрова кленом ясенелистным и другими деревьями не выявлено (Berg et al., 2017).

В настоящей работе мы оценили уровень затенения в урбанизированных сообществах с доминированием *A. negundo* на Среднем Урале. Мы использовали два подхода к оценке затенения: оценку сомкнутости крон по фотографиям и оценку доли перехваченного кронами света (затенения) с помощью прямых измерений люксметром. **Цель** работы: оценить уровень затенения в урбанизированных сообществах с доминированием *A. negundo*. Проверяли три частных предположения: а) уровень затенения с ростом сомкнутости крон возрастает; б) в сообществах с доминированием инвазивного *A. negundo* уровень затенения выше, чем в сообществах с доминированием других видов деревьев; в) с ростом доли стволов *A. negundo* и общего числа стволов в древостое уровень затенения растет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробные площади. Исследование выполнено в 2020 г. на селитебных территориях г. Екатеринбург, г. Арамилы и пос. Кольцово. Использовали экспериментальный дизайн с парными пробными площадями (ПП) 20×20 м с доминированием *A. negundo* и без него. Сначала выполняли поиск сообществ с доминированием *A. negundo* (An+). Доминирующим видом дерева считали вид, общее число стволов которого на ПП было больше числа стволов любого другого вида дерева, а доля его стволов в сообществе составляла не менее 30%. Для каждого сообщества An+ подбирали сходное сообщество с доминированием другого вида дерева (An-). Сообщества An- подбирали таким образом, чтобы: а) они находились в схожих условиях с сообществами An+, в частности, однородны по рельефу и типу ландшафта; б) значения сомкнутости крон на парных ПП были примерно одинаковыми; в) парные ПП находились на расстоянии не более 0.5 км друг от друга. Эти особенности подбора ПП позволяли рассматривать комплекс условий среды на ПП An- в качестве комплекса условий, которые могли быть на ПП An+ в случае, если бы *A. negundo* не доминировал на ней. Всего заложено 10

парных ПП: 8 ПП на территории г. Екатеринбурга, 1 – на территории г. Арамили и 1 – на территории пос. Кольцово. На каждой ПП определено общее число стволов деревьев и число стволов *A. negundo*, диаметр которых на высоте 1.3 м превышал 4 см. В древостое сообществ A_n доминировали: *Malus baccata* (L.) Borkh, *Prunus padus* L., *Pinus sylvestris* L., *Salix alba* L., *Salix fragilis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Tilia cordata* Mill., *Ulmus laevis* Pall.

Измерение сомкнутости крон. На каждой ПП цифровым фотоаппаратом Lumix DMC-FP2 (ПЗС-датчик – 1/2.5”/10.3 млн пикселей/первичный цветовой фильтр; разрешение фото – 3648×2736 пикселей) в середине июля выполнили по 10 цветных снимков вертикально вверх (с высоты 0.8–1.2 м). Снимки выполнялись в случайных точках ПП. Всего выполнено 240 вертикальных снимков полога.

Подготовка снимков к анализу выполнена в программе Adobe Photoshop 11.0 (Adobe System Inc., 2008). Изображения конвертировались в бинарные (двухцветные) таким образом, чтобы черные пиксели соответствовали кронам, стволам деревьев и другим естественным преградам солнечному свету, а белые пиксели соответствовали открытому небу. Анализ сомкнутости крон выполнен в программе Matlab R2018b (9.5.0.944444, The MathWorks Inc., 2018) с помощью специально написанного для этих целей кода (Дубровин, Крупина, 2020). Для каждой обработанной фотографии получено отношение числа черных пикселей к общему числу пикселей, принятое нами за сомкнутость крон. Значения сомкнутости крон для каждой ПП усредняли.

Измерение уровня освещённости. Для каждой ПП люксметром ТКА-ПКМ-42 выполнено по 20 измерений освещённости на высоте 1.5 м внутри зарослей (L_1 ; в люксах, $\times 10^2$) и на близлежащей открытой местности (L_2 ; в люксах, $\times 10^2$). Участки на открытой местности находились от зарослей на расстоянии, превышающем высоту деревьев в этих зарослях, с целью исключить перехват света кронами. Все измерения освещённости выполнены во временном промежутке с 10:00 до 15:00 по местному времени. Измерения L_1 и L_2 выполнены в одинаковых погодных условиях с промежутком времени между измерениями на ПП и открытой местности не более 5 мин. 2400 измерений освещённости выполнены в два тура: с 22 по 30 июня и с 24 июля по 3 августа 2020 г. Исходные значения освещённости усредняли для каждого тура отдельно. Для оценки доли света под пологом сообществ от общего дневного использовали индекс I_L или характеристику относительного светового довольствия (Лархер, 1978), который определяли как отношение интенсивности освещения в местообитании к ближайшему по времени измерению интенсивности освещения на открытом месте. На основании этого индекса мы рассчитали долю

перехваченного света от общего дневного (индекс затенения), выраженный как I_L , вычитенный из единицы (Формула 1):

$$I_S = 1 - \frac{L_1}{L_2} \times 100\% \quad (1)$$

, где I_S – индекс затенения; L_1 – уровень освещённости на высоте 1.5 м под пологом деревьев, лк $\times 10^2$; L_2 – уровень освещения на высоте 1.5 м на открытой местности, лк $\times 10^2$.

Анализ данных. Условия освещения в описанных сообществах характеризовали, с одной стороны, косвенно, по данным, полученным на основании обработанных фотографий (обозначение – сомкнутость крон в процентах), с другой стороны, напрямую, как долю перехваченного кронами света от общего дневного уровня, рассчитанную на основании измерений люксметра (обозначение – I_S в процентах).

Для сравнения сомкнутости крон и затенения на ПП разных вариантов использовали t-тест для связанных переменных; зависимая переменная – сомкнутость крон или I_S , предиктор – вариант сообщества (An+ или An–). Связь абсолютного числа стволов в древостое и доли стволов клена в древостое с условиями освещения, а также связь разных способов оценки условий освещения между собой проверяли с применением корреляционного анализа, для выявления направления связей применяли коэффициент корреляции Пирсона, для оценки качества аппроксимаций – коэффициент детерминации (r^2).

При анализе данных все параметры, выраженные в долях (сомкнутость крон, I_S , доля стволов *A. negundo* в древостое), подвергли арксинус-преобразованию. Для построения графиков использовали преобразованные значения параметров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сомкнутость крон изменялась в пределах от 87 до 95% (в среднем 91%) в сообществах An+; от 58 до 97% (в среднем 85%) в сообществах An–. Доля перехваченного света от общего дневного I_S изменялась в зарослях клена от 89 до 99% (в среднем, 95%), в зарослях других деревьев – от 76 до 99% (в среднем 89%).

Общая связь сомкнутости крон и затенения положительная (рис. 1). Другими словами, сомкнутость крон и затенение – характеристики, описывающие одно явление – условия освещения или световой режим сообществ.

Средняя сомкнутость крон в сообществах An+ на 5% выше, чем в сообществах An–, но эти различия незначимы (рис. 2а). Среднее затенение в зарослях *A. negundo* выше на 6% и эти различия значимы (рис. 2б).

Таким образом, с одной стороны, это подтверждает, что сообщества $Ap+$ и $Ap-$ близки по значениям сомкнутости крон. С другой стороны, при близкой сомкнутости крон в зарослях *A. negundo* все же темнее, чем в зарослях других деревьев.

Сомкнутость крон с увеличением доли стволов *A. negundo* в древостое не изменялась (рис. 3а), как и уровень затенения (рис. 3б). Условия освещения не изменялись и с ростом числа стволов деревьев в сообществе (рис. 4а, б).

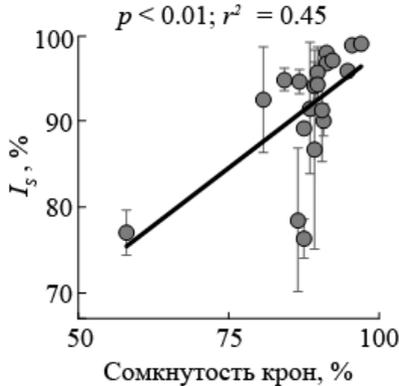


Рис. 1. Связь сомкнутости крон с долей перехваченного кронами света (среднее, минимум, максимум на ПП) в общей выборке сообществ. Показана линейная аппроксимация (черная линия), уровень значимости (p) и коэффициент детерминации (r^2).

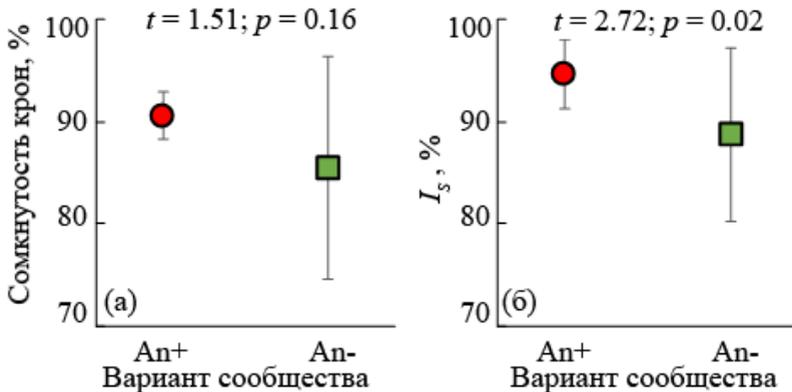


Рис. 2. Средняя (\pm стандартное отклонение) сомкнутость крон (а) и доля перехваченного света от общего дневного (б) в зарослях *A. negundo* ($Ap+$; красные круги) и в зарослях других видов деревьев ($Ap-$; зеленые квадраты). Показаны значения t -критериев для связанных переменных (t) и уровни значимости (p).

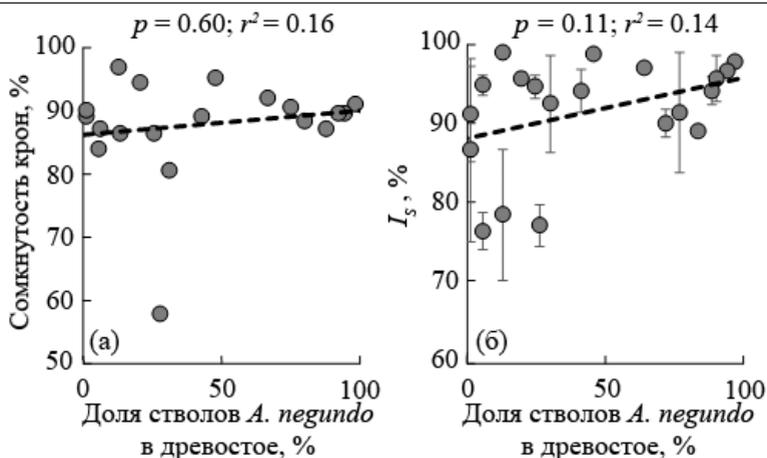


Рис. 3. Связь средней сомкнутости крон (а) и доли перехваченного кронами света от общего дневного (среднее, минимум, максимум на ПП) (б) с долей стволов *Acer negundo*. Показаны линии аппроксимации (черные линии), уровни значимости (p) и коэффициенты детерминации (r^2).

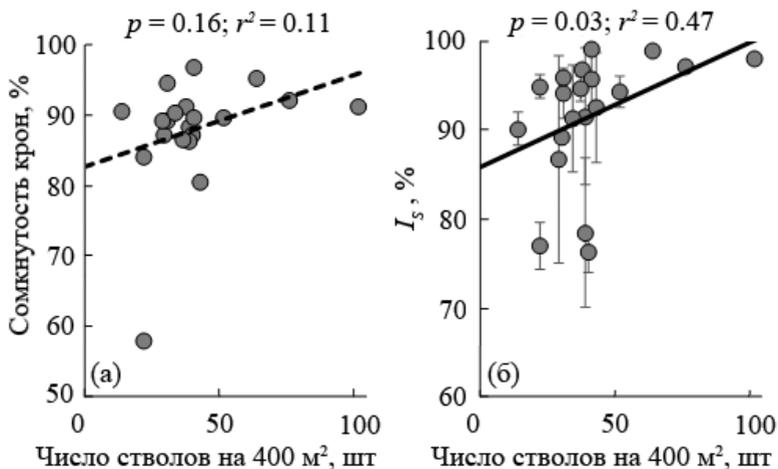


Рис. 4. Связь средней сомкнутости крон (а) и доли перехваченного света от общего дневного (среднее, минимум, максимум на ПП) (б) с числом стволов деревьев. Показаны линейные аппроксимации (черные линии), уровни значимости (p) и коэффициенты детерминации (r^2). Сплошными линиями показаны значимые связи ($p < 0.05$).

Не удалось подтвердить, что световой режим урбанизированных сообществ обусловлен уровнем преобладания *A. negundo*. Но исключить, что такая связь существует, нельзя, т. к. корреляции условий освещения с долей стволов клена однонаправленны, независимо от способа

оценки условий освещения (рис. 3а, б). С ростом числа стволов в урбанизированных сообществах сомкнутость крон увеличивалась незначительно (рис. 4а), а I_s – значительно (рис. 4б).

Результаты позволяют предположить, что в зарослях *A. negundo* условия освещения зависят не только от степени перекрытия неба кронами в вертикальной проекции, но и от дополнительных факторов: перехват бокового потока света нависающими кронами из-за формирования наклонных стволов, выносящих листья к свету в свободном от крон пространстве (Костина и др., 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По представленным данным, сомкнутость крон и степень затенения – тесно связанные между собой характеристики и световой режим сообществ можно характеризовать как с помощью сомкнутости крон, оцененной по фотографиям, так и с помощью прямых измерений освещённости. Таким образом, первое предположение подтверждено.

При одинаковой сомкнутости крон в зарослях *A. negundo* темнее, чем в зарослях деревьев других видов. Можно, по-видимому, считать, что при одинаковой сомкнутости крон клен перехватывает свет более эффективно, чем другие виды деревьев. Это соответствует его статусу вида-трансформера. Таким образом, второе предположение также подтверждено. Исползованная методика подбора пробных площадей с близкими значениями сомкнутости крон позволила показать, что учёт только критерия сомкнутости крон не позволяет полностью выровнять условия сообществ по уровню освещения. Опираясь на величину сомкнутости крон в вертикальной проекции, невозможно учесть перехват бокового потока света и наложение крон деревьев разных ярусов друг на друга. Прямые измерения освещённости позволяют более объективно оценить световые условия.

При оценке сопряженности условий освещения с уровнем доминирования *A. negundo* и плотностью древостоя выявлена значимая положительная связь плотности древостоя с долей перехваченного кронами света. Остальные связи незначимы, но имеют то же направление. Это значит, что третье предположение, заключавшееся в том, что условия освещения сопряжены со степенью доминирования *A. negundo* и общей густотой зарослей вероятно, но требует дополнительной проверки. Наши данные подтверждают это предположение частично.

Для лучшего понимания значения перехвата света в сообществах, подвергшихся инвазии *A. negundo*, трансформацию светового режима необходимо оценить в более широком диапазоне сомкнутости крон с использованием прямых измерений освещённости. Помимо оценки

условий освещения в зарослях *A. negundo* важно оценить связи затенения с видовым богатством и покрытием видов травянистых растений. Выполненная ранее работа, оценивающая связь сомкнутости крон с этими параметрами, не дала однозначной оценки этой связи (Дубровин, Крупина, 2020).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность м.н.с. О.С. Рафиковой и студентке Д.П. Крупиной за помощь в выполнении полевых измерений. Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № АААА-А19-119031890084-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселкин Д.В., Дубровин Д.И. Разнообразие травяного яруса урбанизированных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* // Экология. 2019. № 5. С. 323–331. <https://doi.org/10.1134/S0367059719050111>
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
- Дубровин Д.И. Разнообразие урбанизированных растительных сообществ с доминированием инвазивного *Acer negundo* L. // Экология: факты, гипотезы, модели: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург: Реэкшен, 2018. С. 30–33.
- Дубровин Д.И., Крупина Д.П. Эффект сомкнутости крон инвазивного *Acer negundo* L. на плотность видов и обилие трав в урбанизированных сообществах // Наука, природа и общество: мат-лы всерос. науч. конф., посвященной 100-летию Ильменского государственного заповедника, 100-летию со дня рождения академика П.Л. Горчаковского и 70-летию со дня рождения минералога В.О. Полякова. Миасс: 2020. С. 58–62.
- Костина М.В., Минькова Н.О., Ясинская О.И. О биологии клёна ясенелистного в зелёных насаждениях Москвы // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2013. № 4. С. 32–43.
- Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
- Berg C., Drescherl A., Essl F. Using relevé-based metrics to explain invasion patterns of alien trees in temperate forests // Tuexenia. 2017. № 37. P. 127–142. <https://doi.org/10.14471/2017.37.012>
- Bravo-Monasterio P., Pauchard A., Fajardo A. *Pinus contorta* invasion into treeless steppe reduces species richness and alters species traits of the local community // Biological Invasions. 2016. № 18. P. 1883–1894. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1131-4>

- Cusack D.F., McCleery T.L.* Patterns in understory woody diversity and soil nitrogen across native- and non-native-urban tropical forests // *Forest Ecology and Management*. 2014. № 318. P. 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.036>
- Dyderski M.K., Jagodzinski A.M.* Similar impacts of alien and native tree species on understory light availability in a temperate forest // *Forests*. 2019. Vol. 10. № 951. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/f10110951>
- Gioria M., Osborne B.A.* Resource competition in plant invasions: emerging patterns and research needs // *Frontiers in Plant Science*. 2014. № 5. P. 1–21.
- Lanta V., Hyvönen T., Norrdahl K.* Non-native and native shrubs have differing impacts on species diversity and composition of associated plant communities // *Plant Ecology*. 2013. Vol. 214. № 12. P. 1517–1528. <https://doi.org/10.1007/s11258-013-0272-0>
- Niinemets Ü.* A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varying shade tolerance // *Ecological Research*. 2010. № 25. P. 693–714. <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0712-4>
- Nilsson C., Engelmark O., Cory J.* et al. Differences in litter cover and understory flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden // *Forest Ecology and Management*. 2008. № 255. P. 1900–1905. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.012>
- Reinhart K., Gurnee J., Tirado R., Callaway R.* Invasion through quantitative effects: intense shade drives native decline and invasive success // *Ecological Applications*. 2006. № 16. P. 1821–1831. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\(1821:ITQEIS\)2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016(1821:ITQEIS)2.0.CO;2)
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M.* et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // *Diversity and Distributions*. 2000. № 6. P. 93–107.
- Saccone P., Pagès J.P., Girel J.* et al. *Acer negundo* invasion along a successional gradient: early direct facilitation by native pioneers and late indirect facilitation by conspecifics // *New Phytologist*. 2010. № 187. P. 831–842. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x>
- Schuster M.J., Reich P.B.* Amur maple (*Acer ginnala*): an emerging invasive plant in North America // *Biological Invasions*. 2018. № 20. P. 2997–3007. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1754-8>
- Vilà M., Espinar J.L., Hejda M.* et al. Ecological impacts of invasive alien plants: a metaanalysis of their effects on species, communities and ecosystems // *Ecology Letters*. 2011. № 14. P. 702–708.

Оптимизация условия выращивания сульфатовосстанавливающих бактерий для решения проблем очистки загрязнённых вод

К.К. Климов, К.Д. Высотин, М.А. Безматерных

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: питательная среда, сульфатовосстанавливающие бактерии, очистка сточных вод, глицерин

Число бактерий во всем мире не поддается исчислению, их роль трудно переоценить как для природы, так и для человека. Так, бактерии участвуют в биогеохимических циклах в биосферной системе: циклы углерода, фосфора, кальция, кремния, железа, азота, серы. Цикл серы существует благодаря реакциям сульфат- и сероредукции, окисления серы, которые катализируются только бактериями (Хамидуллина и др., 2012). Однако, данные процессы полезны не только для естественных систем, но и для целей, преследуемых человеком. С помощью сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) можно осажать металлы, которые невыгодно улавливать другими способами. Это свойство сульфатредуцирующих бактерий способствует очистке сточных вод производств от металлов. Так как данные бактерии используют в своей жизнедеятельности сульфат, то его также можно удалять из среды, в которой присутствуют СВБ.

Загрязнение вод тяжелыми металлами является актуальной проблемой (Государственный доклад, 1998). В местах действующих и заброшенных шахт образуются кислые дренажные воды. Они содержат большое количество тяжелых металлов и сульфатов, а также имеют низкий рН, являющийся результатом окисления сульфидов металлов. В настоящее время широко распространены химические методы обезвреживания сульфат- и металлсодержащих сточных вод. Стоимость подобных процессов велика при не очень высокой эффективности удаления сульфата и металлов. Практически значимой является разработка и введение систем биологической очистки вод, содержащих металлы, с использованием СВБ.

Биологический метод имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с химическими методами, таких как сравнитель-

но низкая стоимость, высокая эффективность удаления металлов и возможность повторного использования извлеченных металлов. Большое практическое значение имеет подбор оптимальной в экономическом и качественном плане питательной среды (Гусев, Минева, 2004).

Цель исследования: оптимизация питательной среды сульфатвосстанавливающих бактерий для очистки сточных вод от тяжелых металлов. **Задачи** исследования: выделение СВБ из природного источника, получение накопительной культуры, определение оптимальной питательной среды с учётом экономической выгоды, оптимизация питательной среды по методу Бокса-Уилсона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основной акцептор электронов при дыхании – сульфат-ион, продуктом восстановления которого является сульфид, через промежуточную стадию образования сульфита.

СВБ открывают нам доступ к альтернативному пути – связыванию ионов металлов с сероводородом, который является продуктом жизнедеятельности бактерий, с образованием нерастворимых сульфидов: $H_2S + Pb^{2+} \rightarrow PbS \downarrow + 2H^+$. Для улавливания ионов в жидкой фазе выходной водный поток из биореактора, содержащий избыток сероводорода, смешивают с концентрированной частью потока обрабатываемой воды, содержащей ионы тяжелых металлов, которые, превращаясь в сульфиды, образуют нерастворимые агломераты, удаляемые осаднением. Эффективность удаления таким способом ионов цинка составляет 97–99%, ионов меди и хрома до 96% (Kalyuzhnyi et al., 1998).

Для выделения сульфатвосстанавливающих бактерий использовали удмуртскую нефть, предоставленную ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр», которую можно классифицировать как сернистую и высокосернистую. СВБ выделяли из предоставленной трёхсуточной нефти.

Сульфатвосстанавливающие бактерии являются анаэробами, поэтому для их выделения из нефти был выбран биологический принцип, основанный на создании анаэробных условий культивирования.

Основная среда для выращивания сульфатвосстанавливающих бактерий – Постгейта (Петрова и др., 2003). В большинстве своем питательные среды различаются именно субстратом, а также наличием дрожжевого экстракта. Остальные элементы присутствуют во всех средах, разница только лишь в их соотношении: KH_2PO_4 , NH_4Cl , $CaCl_2$, $MgSO_4$, Na_2SO_4 , микроэлементы, витамины.

В качестве источника углерода был выбран глицерин, как экономически более дешевый, чем классический для выращивания СВБ

лактат. Для оптимизации питательной среды с использованием в среде Постгейта более дешевого глицерина вместо лактата использовался метод Бокса-Уилсона (метод крутого восхождения). Статистическую обработку проводили вручную, рассчитывая критерий Фишера.

Использовали односуточную культуру СВБ, выращенную при 30 °С на питательной среде Постгейта С, которую затем пересевали (1 мл) в колбы емкостью 250 мл со 100 мл среды, состоящей из следующих компонентов: глицерин, дрожжевой экстракт, Na_2SO_4 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NH_4Cl , $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в количестве, необходимом согласно плану эксперимента, и культивировали в течение трёх суток при температуре 30 °С.

В качестве четырёх факторов варьирования были взяты глицерин (X_1), дрожжевой экстракт (X_2), Na_2SO_4 (X_3), KH_2PO_4 (X_4), содержание остальных компонентов ферментационной среды было зафиксировано на следующем уровне: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.06 г/л, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1 г/л, NH_4Cl – 1.0 г/л, $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 0.5 г/л, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0.06 г/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Консорциум сульфатовосстанавливающих бактерий был успешно выделен из Удмуртской нефти и выращен на селективной питательной среде Постгейта С. После чего был выполнен пересев в опытные среды, содержащие глицерин вместо лактата, и с помощью математического моделирования определены оптимальные соотношения компонентов. По методу Бокса-Уилсона было выведено уравнение регрессии: $P = 9.45 - 2.32X_1 + 1.56X_2 + 1.53X_3 - 2.97X_4$. На его основании разработан оптимальный состав питательной среды для получения максимального количества жизнеспособных клеток СВБ. Состав среды: глицерин – 15.47 г/л, дрожжевой экстракт – 2.16 г/л, Na_2SO_4 – 3.18 г/л, KH_2PO_4 – 2.50 г/л, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.06 г/л, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.10 г/л, NH_4Cl – 1.00 г/л, $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 0.50 г/л, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0.06 г/л.

Глицерин, который является одним из основных компонентов органических отходов при производстве биотоплива (биодизеля), пищевой и косметической продукции, использовать для культивирования СВБ куда экономически более выгодно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана экономически выгодная питательная среда для культивирования СВБ, лактат из среды Постгейта С был заменен на глицерин и рассчитано оптимальное соотношение компонентов, что определено удешевит процесс использования СВБ для биологической очистки сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гусев М.В., Минеева Л.А.* Микробиология. М.: Издательство МГУ, 2004. 448 с.
- Петрова О.Е., Давыдова М.Н., Тарасова Н.Б., Мухитова Ф.К.* Сульфатредуцирующие бактерии в биологической переработке промышленных отходов, содержащих нитроцеллюлозу // Вестник Московского университета. 2003. Т. 44. № 1. С. 43–45.
- Хамидуллина И.В., Хлебникова Т.Д., Хамидуллин И.Р.* Особенности использования сульфатвосстанавливающих бактерий для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19. № 3. С. 147–151.
- Kalyuzhnyi S., Fedorovich V., Lens P. et al.* Mathematical modelling as a tool to study population dynamics between sulfate reducing methanogenic bacteria // Biodegradation. 1998. Vol. 9. № 1. P. 187–199.

Анализ полиморфизма ITS-последовательностей *Lagotis uralensis* и *L. minor* (Plantaginaceae)

К.А. Коваленко¹, Д.М. Шадрин², О.Е. Валуйских²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима
Сорокина, г. Сыктывкар

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Ключевые слова: *Lagotis*, ITS2, ДНК-итрихкодирование

На сегодняшний день род *Lagotis* включает 20–28 видов, распространенных почти циркумполярно в Арктике, а также в горах Урала, Сибири, Средней и Центральной Азии, в Закавказье и Малой Азии, Гималаях, в Северной Америке (World flora online, 2021). Наибольшее видовое разнообразие отмечено в горах Средней Азии и Цинхай-Тибетском плато (Li et al., 2014). На территории России встречается четыре вида рода *Lagotis* (Куликов и др., 2013), на Урале – два вида: *L. minor* (Willd.) Standl. и *L. uralensis* Schischk., эндемик Уральской горной страны (Шишкин, 1955).

Многие виды рода *Lagotis* достаточно подробно изучены с точки зрения молекулярной систематики (Li et al., 2014). Однако для некоторых представителей этого рода, в том числе и для эндемика Урала *L. uralensis*, сведения о нуклеотидных последовательностях отсутствуют (NCBI, 2020; BOLD Systems, 2020).

L. uralensis – эндемик Урала, описан в работе 1955 года Б.К. Шишкиным по сборам К.Н. Игошиной с Конжаковского Камня, Свердловская область (Шишкин, 1955; Горчаковский, Шурова, 1982). Самостоятельность нового вида показана в морфологических различиях и обособленности ареала (на момент описания вида сведения о распространении *L. uralensis* охватывали только Южный Урал и Средний Урал). *L. uralensis* за пределами России не отмечен. В России распространен на Приполярном, Северном, Среднем и Южном Урале (Куликов и др., 2013). Основными диагностическими признаками, отделяющими *L. uralensis* от близкого вида *L. minor*, являются длина тычиночных нитей и положение столбика по отношению к верхней губе венчика (Говорухин, 1937; Шишкин, 1955; Викулова, 1955; Лашенкова, 1962; Иванина, 1977, 1981; Выдрина, 1996 и др.). Ареал *L. minor* – восточноевропейский-азиатский-западноамериканский (Поспелов, Поспелова, 2007). В зоне наложения ареалов *L. uralensis* и *L. minor* на Приполярном и Северном Урале встречены

популяции с перекрывающимися значениями ключевых признаков у особей, что затрудняет их видовую идентификацию (Фадеев, Валуицких, 2019). В связи с этим, **цель** настоящей работы заключалась в оценке возможности разделения *L. uralensis* и *L. minor* на основании варибельности ITS2-последовательности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом служили гербарные образцы *L. uralensis* из Республики Коми (SYKO-PV-17541; Северный Урал, хр. Поясовый Камень, окр. г. Янгалесос 2018 г.); Свердловской области (Sveg-668185; Северный Урал, г. Косвинский Камень, 1995 г.), (Sveg-637324; Северный Урал, Конжаковский Камень, 2004 г.); Республики Башкортостан (Sveg-638608; Южный Урал, г. Малый Ирмель, 1996 г.), (Sveg-668191; Южный Урал, хребет Ирмель, горная тундра у ручья, 1995 г.). Так же мы использовали гербарные образцы *L. minor* из ЯНАО (SYKO-PV-17539; Полярный Урал, северная часть хребта Оченырды, оз. Очеты, берег озера, прибрежный галечник, 2004 г.), и Республики Коми (SYKO-PV-17540; Приполярный Урал, бассейн реки Большая Сыня, верховья реки Косью, окр. г. Манарага, 2006 г.). Кроме того, в анализ включены образцы с переходными признаками между *L. uralensis* и *L. minor* из Республики Коми (SYKO-PV-17542; Северный Урал, хр. Тельпос-из, 2017 г.), (SYKO-PV-17543; Северный Урал, хр. Тельпос-из, бассейн реки Тельпос, 2018 г.), а также последовательность *L. minor* (№ KC413426.1) из Китая и последовательность *L. minor* (№ HG424243.1) из восточного Таймыра, заимствованные из базы данных GenBank (NSBI, 2021).

Тотальную ДНК выделяли из высушенных листьев с помощью набора «DNeasy Plant Mini Kit» (Qiagen, Germany), в соответствии с инструкциями производителя. Выделение ДНК, полимеразную цепную реакцию для последовательностей ITS2 и их последующее секвенирование проводили с использованием оборудования ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар. Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили с применением алгоритма ClustalW в программе Mega X (Thompson et al., 1994; Kumar et al., 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Матрица данных для нуклеотидной последовательности ITS2 включала 191 пару нуклеотидов. Сравнительный анализ включал нуклеотидные последовательности ITS2 для *L. uralensis* с Полярного и Приполярного Урала, *L. minor* с Северного и Южного Урала и двух образцов этого вида из GenBank, а так же особей с переходными признаками между *L. uralensis* и *L. minor* с Северного Урала. Образцы

L. minor из GenBank отличаются от других образцов только трансверсией (А-С) в положении 39 ITS2 (таблица). Также отмечены гибридные пики (R) для всех рассматриваемых образцов, кроме образцов *L. minor* из GenBank, в положении 73 ITS2. Кроме того присутствует гибридный пик (S) образца *L. uralensis* (Sver-668191) с Южного Урала в положении 82 ITS2.

Таблица. Полиморфные нуклеотидные позиции для участков ITS2 *Lagotis uralensis* и *Lagotis minor*

Образец	Позиция в регионе ITS2		
	39	73	82
<i>Lagotis uralensis</i> Sver-637324	A	R	G
<i>Lagotis uralensis</i> Sver-638608	A	R	G
<i>Lagotis uralensis</i> Sver-668191	A	R	S
<i>Lagotis uralensis</i> Sver-668185	A	R	G
<i>Lagotis uralensis</i> или <i>Lagotis minor</i> SYKO-PV-17542	A	R	G
<i>Lagotis uralensis</i> или <i>Lagotis minor</i> SYKO-PV-17543	A	R	G
<i>Lagotis minor</i> SYKO-PV-17539	A	R	G
<i>Lagotis minor</i> SYKO-PV-17540	A	R	G
<i>Lagotis minor</i> KC413426.1	C	A	G
<i>Lagotis minor</i> HG424243.1	C	A	G

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами впервые получены нуклеотидные последовательности ITS2 для *L. uralensis* с Северного и Южного Урала, а также для *L. minor* с Полярного и Приполярного Урала. Показано отсутствие полиморфизма между видами *L. uralensis* и *L. minor* с Урала. При этом показана внутривидовая дифференциация у *L. minor* из разных частей ареала: образцы с Таймыра и Китая отличаются от уральских популяций. Для получения более полной и информативной картины необходимо проанализировать образцы *L. minor* из других частей ареала, оценить степень географической дифференциации и вариабельности ДНК (в том числе и по другим маркерам), а также сопоставить эволюционную обособленность таксонов с их морфологическим своеобразием.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми (проект № 20-44-110011) в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Викуллова Н.В. Род Лаготис – *Lagotis* Gaertn. // Флора СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 22. С. 500–511.
- Выдрина С.Н. *Lagotis* Gaertner – Лаготис // Флора Сибири: Scrophulariaceae. Новосибирск: Наука, 1996. Т. 12. С. 48–49.
- Говорухин В.С. Флора Урала. Определитель растений, обитающих на горах Урала и в его предгорьях от берегов Карского моря до южных пределов лесной зоны. Свердловск: Обл. изд., 1937. С. 459–460.
- Горчаковский П.Л., Шурова Е.А. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья. Екатеринбург: Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука». Екатеринбург, 1982. С. 208.
- Иванина Л.И. Род *Lagotis* Gaerth.– Лаготис // Флора северо-востока европейской части СССР: Т. IV. Семейства Umbelliferae–Compositae. Л.: Наука, 1977. С. 113.
- Куликов П.В., Золотарёва Н.В., Подгаевская Е.Н. Эндемичные растения Урала во флоре Свердловской области // Материалы конф. молодых учёных. Екатеринбург: Голицкий, 2013. С. 285.
- Лашенкова А.Н. Определитель высших растений Коми АССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 355 с.
- Фадеев А.С., Валуцких О.Е. Систематика и распространение видов рода *Lagotis* в Республике Коми // XXVI Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии». Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 43
- Поспелов Е.Б. Поспелова И.Н. Флора сосудистых растений Таймыра и сопредельных территорий. Часть 1. Аннотированный список флоры и её общий анализ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 457 с.
- Шишкин Б.К. Новые виды рода *Lagotis* Gaertn. // Ботанические материалы гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР. 1955. Т. XVII. С. 380–382.
- Kumar S., Stecher G., Li M. et al. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Across Computing Platforms // Molecular Biology and Evolution. 2018. Vol. 35(6). P. 1547–1549.
- Li G., Kim C., Zha H. et al. Molecular phylogeny and biogeography of the arctic-alpine genus *Lagotis* (Plantaginaceae) // Taxon. Vol. 63(1).
- Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice // Nucleic Acids Research. 1994. Vol. 22. P. 4673–4680.

Фауна млекопитающих из местонахождения Искорское

К.Ю. Коновалова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

Ключевые слова: археозоология, териофауна, костные остатки, поздний голоцен

Изучение костных остатков из археологических памятников позволяют решить ряд задач, связанных с особенностями жизнедеятельности древних сообществ – это реконструкция хозяйства населения, определение характера ресурсного обеспечения, специфику экономики и многие другие стороны жизни народов прошлого. Кроме того, работа с остеологическими материалами позволяет воссоздавать экологические условия минувших эпох, оценивать степень влияния человека на ресурсы животных и окружающую среду. Анализ первичного материала из отдельных археологических памятников позволяет воссоздать полную картину фауны конкретных регионов. В конечном итоге становится возможным делать крупные обобщения и глобальные выводы о динамике фауны.

Данная работа была посвящена анализу одного из первичных местонахождений. **Цель** работы заключается в оценке использования древним населением Северного Урала млекопитающих в IX–XVIII вв. по материалам раскопок Искорского городища. **Задачи:** 1) определить особенности хозяйственной деятельности древнего населения; 2) выяснить каким являлось ведущее направление в животноводстве; 3) выявить возможные изменения состава фауны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили кости животных из раскопок Искорского городища, проводимых в 2020 г. Искорское городище расположено на севере Пермского края, в 5 км к северо-востоку от села Искор Чердынского района (60°41'04" с.ш. 56°45'44" в.д.). В ходе проводимых В.А. Обориным в 1957, 1976, 1980 гг. археологических исследования на памятнике были выявлены комплексы раннего (родановская культура IX–XIV вв.) и позднего средневековья (пе-

риод ранней русской колонизации Верхнего Прикамья XV–XVI вв.) (Мельничук, Корчагин, 2003).

Для таксономической идентификации остатков была использована эталонная коллекция музея Института экологии растений и животных УрО РАН. Определение возраста КРС проводили по методике А. Грант (Grant, 1982). Анализировали степень стертости отдельных зубов (d4, р4, m1, m2, m3) и целых зубных рядов нижних челюстей. В случае, когда невозможно было отличить первый и второй моляры, полученные данные в равных долях (по 0.5) относились к двум возрастным категориям. Osteологическая коллекция хранится в музее ИЭРиЖ УрО РАН (№1425).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Было изучено 1239 костных остатков, из них абсолютное большинство принадлежит млекопитающим. Птицам принадлежит 13 костей. До вида идентифицировано немногим более половины (54%) остатков млекопитающих. Обнаружено 13 видов млекопитающих, относящихся к пяти отрядам: Rodentia, Lagomorpha, Carnivora, Perissodactyla, Cetartiodactyla (таблица).

Таблица. Таксономический состав фауны местонахождения Искорское

Таксон	Количество костей	
	Экземпляры	%
Крупный рогатый скот (<i>Bos taurus</i> L.)	282	23.0
Лошадь (<i>Equus caballus</i> L.)	210	17.1
Свинья (<i>Sus scrofa domestica</i> L.)	69	5.6
Собака (<i>Canis lupus familiaris</i> L.)	1	0.1
Лось (<i>Alces alces</i> L.)	67	5.5
Северный олень (<i>Rangifer tarandus</i> L.)	11	0.9
Бобр (<i>Castor fiber</i> L.)	15	1.2
Белка (<i>Sciurus vulgaris</i> L.)	2	0.2
Заяц-беляк (<i>Lepus timidus</i> L.)	2	0.2
Куница или соболь (<i>Martes</i> sp.)	1	0.1
Бурый медведь (<i>Ursus arctos</i> L.)	1	0.1
Росомаха (<i>Gulo gulo</i> L.)	1	0.1
Мелкий рогатый скот (<i>Ovis aries</i> L. et <i>Capra hircus</i> L.)	2	0.2
Млекопитающие, не определимые (Mammalia indet.)	562	45.8
ИТОГО	1226	100

Наиболее многочисленны остатки крупного рогатого скота (КРС), их доля составила более 42% от определяемых до вида остатков. Второе место по количеству пришлось на остатки лошади (более 31%). Менее значительна доля свиньи (10%) и мелкого рогатого скота (МРС) (менее 1%).

На долю остатков лося приходится 10% от определяемых млекопитающих. Доли остатков бобра и северного оленя составили 2,3% и 1,6% соответственно. Единичны находки костей россомахи, бурого медведя, куницы или соболя. Также в комплексе встречены остатки белки и зайца. В настоящее время все представители дикой фауны обитают на данной территории.

Видовой состав представителей крупных млекопитающих, а также соотношение долей остатков домашних животных схож с другими средневековыми памятниками Прикамья (Бачура и др., 2016; Варов, 2001; Косинцев и др., 2017).

Для КРС, как наиболее значимого в хозяйстве вида, было произведено определение индивидуального возраста особей. Всего было исследовано четыре нижних челюсти и девятнадцать отдельных зубов. Выявлено семь возрастных групп животных в возрасте от восьми месяцев (рисунок). На особей 4–6 лет приходится практически половина выборки (46%), как правило, животные такого возраста составляют маточное и молочное стадо. На долю животных возрастом младше трёх лет приходится 24%, это наиболее активно растущие особи, которые отражают мясную эксплуатацию вида. Такая возрастная структура свидетельствует о мясо-молочном направлении в животноводстве древнего населения.

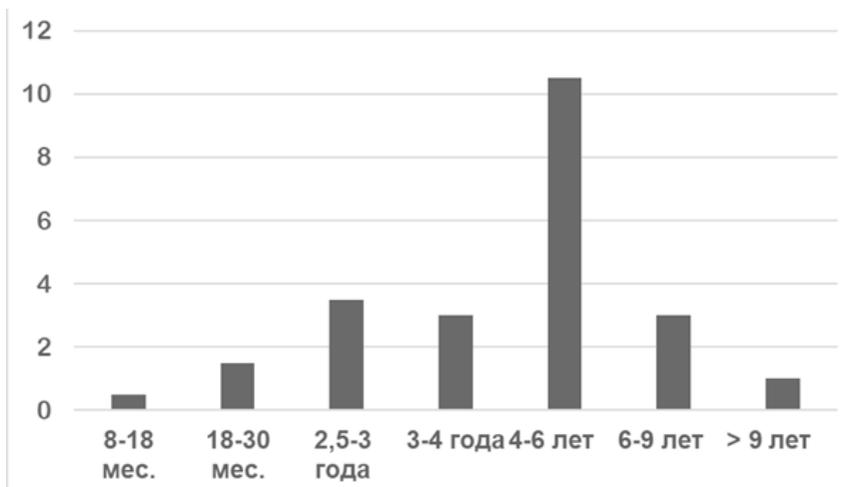


Рисунок. Возрастная структура КРС из местонахождения Искорское.

ВЫВОДЫ

1. В фауне Искорского городища остатки домашних копытных составляют большую часть выборки, что свидетельствует о превашировании в хозяйстве древнего населения животноводства над промыслом.
2. Все виды, остатки которых найдены на территории городища, обитают там и в настоящее время.
3. Основным источником белковой пищи являлся крупный рогатый скот.
4. Животноводство носило мясо-молочную направленность, о чем свидетельствует преобладание взрослых особей КРС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бачура О.П., Гасилин В.В., Косинцев П.А.* Археозоологические материалы из городища Рождественское (планиграфический анализ) // Вестник Пермского научного центра. 2016. Вып. 3. С. 30–35.
- Варов А.И.* Предварительные данные определения костных остатков млекопитающих из городища Анюшкар // Труды КАЭЭ. 2001. Вып. 1–2. С. 143–145.
- Косинцев П.А., Бачура О.П., Саранулов А.Н.* Фауна млекопитающих из местонахождения позднего голоцена Калинское (Пермское Предуралье) // Фауна Урала и Сибири. 2017. № 2. С. 192–199.
- Мельничук А.Ф., Корчагин П.А.* Новейшее изучение древнего Искора // Чердынский край: прошлое и настоящее. Чердынь: Чердынский музей, 2003. С. 22–30.
- Grant A.* The use of Tooth Wear as a Guide to the Age of Domestic Ungulates // Ageing and Sexing Animal Bones from Archaeological Sites. Oxford: BAR British Series 109, 1982. P. 91–108.

К совершенствованию неинвазивной методики оценки обилия мелких млекопитающих в городской среде

Е.И. Куваева

Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

*Ключевые слова: мелкие млекопитающие, грызуны, обилие,
неинвазивные методы, городская среда*

В последнее десятилетие возрастают требования к гуманности исследований мелких млекопитающих (Sikes et al., 2016). Кроме того, при использовании инвазивных методов изъятие животных из природной среды может приводить к появлению артефактов в получаемых результатах (Kalinin et al., 2020). По отношению к редким видам отлов может быть нежелателен или запрещён. По этим причинам растёт значение неинвазивных методов для изучения мелких млекопитающих. К этой группе относят косвенные методы, в которых используют технические приспособления разной степени сложности: следовые площадки, волосяные трубки, фото-ловушки и т. п. (De Bondi et al., 2010). Однако они сравнительно дорогостоящи и трудоёмки, что ограничивает масштаб проводимых работ.

Также следует отметить, что город является специфической, эволюционно новой средой обитания, и для исследования урбанизированной фауны возникает необходимость в новых методах. Проведение работ в антропогенных условиях часто затруднено вандализмом и кражами научного оборудования (Clarín et al., 2014).

Ранее был предложен рекогносцировочный метод учёта совокупного обилия мелких млекопитающих в городской среде с помощью выкладываемых через равные промежутки пластиковых бутылок с приманкой внутри (Толкачёв и др., 2019). **Целью** данного исследования было повышение эффективности и эргономичности этой методики. Для её достижения мы поставили следующие **задачи**: определение привлекательности черных непрозрачных бутылок для животных по сравнению с прозрачными того же объёма; сравнение посещаемости больших и малых прозрачных бутылок (0.25 л vs 0.5 л).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступали те виды мелких млекопитающих, которые были встречены в месте проведения работ. В сопутствующем исследовании мы установили присутствие следующих видов: полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas, 1771), лесная мышь (*Sylvaemus uralensis* Pallas, 1811) и серые полёвки (*Microtus* spp.).

Первый эксперимент – по сравнению посещаемости больших и малых бутылок – был проведен в июне 2019 г. на территории дендрария Ботанического сада УрО РАН, г. Екатеринбург. Большие и малые бутылки скрепляли попарно скотчем, чтобы снизить влияние нецелевых видов, таких как белки. Так постороннее вмешательство должно действовать на бутылки в паре в равной степени. В каждую бутылку помещали приманку – небольшой кубик ржаного хлеба, смоченного нерафинированным подсолнечным маслом. Пары бутылок (37 шт.) раскладывали в линейную трансекту с интервалами 5 м. Заходы в каждую бутылку фиксировали каждое утро в течение девять дней (с 15 июня по 21 июня включительно). Заход одного зверька определяли по отсутствию приманки и погрызам. Каждые два дня линии перемещали, чтобы избежать прикормки зверьков. Если ни одна из бутылок в паре не была посещена или пара имела признаки вмешательства нецелевых видов, их не учитывали.

В ходе второго эксперимента проверяли гипотезу, что мелкие млекопитающие могут охотнее заходить в тёмные бутылки, напоминаящие норы по освещённости. Работу проводили в июле 2020 г. в том же месте. Использовали скреплённые пары бутылок объёмом 0.5 л, одна из которых была покрашена чёрной эмалью. Пары выложили в виде решётки 12x12 с интервалами 10 м (144 пары). Использовали стандартную приманку, как описано выше. Заходы в чёрные и прозрачные бутылки фиксировали однократно, спустя сутки после раскладки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе первого эксперимента было задействовано 37 пар бутылок, которые экспонировали в течение девяти ночей. Всего зафиксировано 211 заходов в большие бутылки и 207 в малые, различия были незначимы ($\chi^2 = 0.37$; $p = 0.24$). Процент посещаемых точек учёта варьировал от 31% до 100% в разных повторностях, но различие по этому параметру между большими и малыми бутылками также оказалось незначимым (рисунок).

В эксперименте по проверке влияния уровня освещения внутри бутылки на её посещаемость мелкими млекопитающими было зафиксировано по 77 заходов в чёрную и прозрачную модификацию. Гипотеза состояла в том, что чёрные бутылки будут более привлекательны для

мелких млекопитающих, которые используют норы в качестве укрытий. Непрозрачные материалы применяют и в других устройствах для изучения этой группы животных, в таких как следовые тоннели (Ruffell et al., 2015). Авторы не поясняют свой выбор цвета конструкции. Мы предполагаем, что в естественной среде светлые объекты реже встречаются на уровне земли и потому могут отпугивать мелких млекопитающих, ведущих преимущественно ночной образ жизни. Так же есть данные, что грызуны чаще избегают следовых тоннелей с хорошей освещённостью внутри (Cooper et al., 2017). Мы допускаем, что действие фактора освещённости в нашем исследовании отличалось от нуля, но нивелировалось наличием приманки, которая мотивировала животных к риску.



Рисунок. Доля посещённых в каждой повторности бутылок.

ВЫВОДЫ

Можно утверждать, что у мелких млекопитающих нет предпочтений как по объёму, так и по освещённости внутри бутылки. Потому для данного метода учёта обилия животных мы советуем использовать именно малый объём, так как его будет легче переносить в полевых условиях. В условиях города прозрачные бутылки предпочтительнее, так как будут привлекать меньше внимания и окажутся менее подвержены кражам или вандализму.

Авторы признательны студентам УрГТУ Тришевской А.В. и Зубкову В.А. а также студентам УрФУ Будимирову А.С. и Горшколовой А.В. за помощь в полевой части исследования в 2020 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Толкачёв О.В., Байтмирова Е.А., Маклаков К.В.* Простой метод оценки обилия мелких млекопитающих // Экология и эволюция: новые горизонты: материалы Международного симпозиума, посвященного 100-летию академика С.С. Шварца. Екатеринбург: Гуманитарный университет, 2019. С. 110–113.
- Clarín B.M., Bitzilekis E., Siemers B.M., Goerlitz H.R.* Personal messages reduce vandalism and theft of unattended scientific equipment // *Methods in Ecology and Evolution*. 2014. № 5. P. 125–131.
- Cooper A., Kelly C.L., King C.M.* et al. Do rats mind getting their feet dirty? Observing the behaviour of ship rats (*Rattus rattus*) towards footprint tracking tunnels // *New Zealand Journal of Zoology*. 2017. Vol. 45. № 1. P. 61–72.
- De Bondi N., White J.G., Stevens M., Cooke R.* A comparison of the effectiveness of camera trapping and live trapping for sampling terrestrial small-mammal communities // *Wildlife Research*. 2010. Vol. 37. P. 456–465.
- Kalinin A.A., Aleksandrov D.Y., Kupriyanova I.F.* Contributions of resident populations and nonresident activities of small mammals to the results of censuses performed using the permanent removal method // *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. Vol. 13. № 2. P. 184–192.
- Ruffell J., Innes J., Didham R.K.* Efficacy of chew-track-card indices of rat and possum abundance across widely varying pest densities // *New Zealand Journal of Ecology*. 2015. Vol. 39. № 1. P. 87–92.
- Sikes R.S., Bryan II J.A., Gannon L.* et al. Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research // *Journal of Mammalogy*. 2016. Vol. 97. № 3. P. 663–688.

Видовой состав и распределение мохообразных в градиенте тундра-лес горного массива Ирмель на Южном Урале

К.А. Лёзова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*Ключевые слова: мохообразные, смещение верхней границы леса,
Ирмель, Южный Урал*

Высокогорные растительные сообщества находятся в жестких климатических условиях, поэтому они раньше сообществ низких высот начинают реагировать на изменение климата (Фомин и др., 2007). Сравнение ландшафтных фотографий, сделанных в первой и второй половинах XX в., свидетельствует о вертикальном смещении границы лесной растительности на горных вершинах Южного Урала (Moiseev, Shiyatov, 2003).

В начале XX в. большая часть поверхности северного отрога г. Большой Ирмель – Залавка была занята горно-тундровыми сообществами с отдельными небольшими деревьями. В настоящее время на этой территории отмечено активное продвижение верхней границы сомкнутого леса, сокращение площади горных тундр, участки горно-тундровой растительности расположены фрагментарно. Помимо изменений в распределении лесопокрытых площадей, выявлено увеличение плотности и площади проективного покрытия (ПП) можжевельника (*Juniperus sibirica* Burgsd.). В целом с конца 1920-х гг. произошло продвижение верхней границы сомкнутых лесов, как минимум, на 50–60 м по высоте и на 300–400 м вдоль склона. Подножие отрога в настоящее время занято плотным еловым лесом, склоны – елово-берёзовым криволесьем, выше описаны горные тундры, зарастающие можжевельником (Шиятов и др., 2020).

Изменения растительности связывают с тем, что в последнем столетии климат на Южном Урале стал более теплым и влажным. Наиболее существенные изменения в температурном режиме и режиме осадконакопления затронули зимние месяцы. Особый интерес в этой

связи вызывают исследования нижних ярусов фитоценозов (травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового) и изменений видового состава горных тундр, происходящих на фоне внедрения древесно-кустарниковой растительности (Григорьев и др., 2018). О высотной дифференциации и скорости изменения видового состава мохообразных и их сообществ известно мало, в связи с чем **целью** работы было изучение видового состава и распределения мохообразных в разных сообществах в градиенте тундра-лес горного массива Иремель на Южном Урале. Была сформулирована гипотеза о том, что виды мохообразных по-разному реагируют на изменение условий среды вдоль градиента тундра-лес.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование провели в 2019 г. на северном отроге г. Большой Иремель – Залавок, входящем в состав горного массива Иремель, который находится на территории Природного парка «Иремель». Климат на территории горного массива континентальный. На западных наветренных склонах выпадает 700–1100 мм осадков в год, на восточных подветренных склонах до 400–450 мм в год. Для растительного покрова характерно проявление закономерностей высотной поясности континентального типа (Цветаев, 1960).

Исследовали изменение сообществ мхов при переходе от верхней части горно-лесного к горно-тундровому поясу. По три пробные площади (всего 12) заложили на трансекте из четырёх типов сообществ: разнотравно-зеленомошный еловый лес – елово-берёзовое криво-лесье – зарастающая можжевельником (*Juniperus sibirica* Burgsd.) горная тундра – овсянницево-ситниковая горная тундра. Размеры пробных площадей – 10×10 м в открытых местообитаниях и 20×20 м в местообитаниях со значительной сомкнутостью крон. Пробные площади в каждом типе сообществ выбирали по возможности однородные. Для описания сообществ мхов закладывали по 10 учётных площадок 25×25 см в пределах каждой пробной площади. Места заложения площадок выбирали случайно, но с условием, что внутрь попадают мохообразные, так как моховой покров на некоторых пробных площадях был разреженный. Внутри учётных площадок фиксировали проективное покрытие мохообразных с точностью до 5%. Всего сделано 120 описаний мохообразных на учётных площадках, собрано 237 образцов. Определение образцов производили с использованием микроскопа Leica 2000, с использованием определителей и списков флоры (Шляков, 1979; Шляков, 1980; Игнатов, Игнатова, 2003; Игнатов, Игнатова, 2004; Дьяченко, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав. Всего на 12 пробных площадях собрано 16 видов двух отделов – Bryophyta и Marchantiophyta. 14 видов относятся к отделу Bryophyta, из них наибольшее число видов принадлежит порядку Hurnales и отнесено к семействам Hylocomiaceae, Pylaisiaceae, Rhytidiaceae и Thuidiaceae. Все найденные виды порядка Hurnales имеют распространение в Арктике или Голарктике, встречаются часто, довольно часто или очень часто. Отдел Marchantiophyta представлен двумя видами, относящимися к одному порядку Porellales. Список видов мохообразных приведен ниже.

Отдел BRYOPHYTA

Класс BRYOPSIDA Horan.

Пор. AULACOMNIALES N.E. Bell, A.E. Newton & D. Quandt

Сем. Aulacomniaceae Schimp.

1. *Aulacomnium pallustre* (Hedw.) Schwägr.

Пор. BRYALES Limpr.

Сем. Bryaceae Schwägr.

2. *Rhodobryum roseum* (Hedw.) Limpr.

Пор. DICRANALES H.Philib. ex M.Fleisch.

Сем. Dicranaceae Schimp.

3. *Dicranum polysetum* Sw., Monthly Rev.

4. *D. scoparium* Hedw.

5. *D. spadiceum* Zett.

Пор. HYPNALES Dumort.

Сем. Hylocomiaceae (Broth.) M.Fleisch.

6. *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.

7. *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.

Сем. Pylaisiaceae Schimp.

8. *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.

Сем. Rhytidiaceae Broth.

9. *Rhytidiun rugosum* (Hedw.)

Сем. Thuidiaceae Schimp.

10. *Abietinella abietina* (Hedw.) M.Fleisch.

Пор. POLYTRICHALES M.Fleisch.

сем. Polytrichaceae Schwägr.

11. *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L.Sm.

12. *Polytrichum commune* Hedw.

13. *P. juniperinum* Hedw.

14. *P. swartzii* Hartm.

Отдел MARCHANTIOPHYTA

Класс JUNGERMANNIOPSIDA Stotler et Crand.-Stotl.

Пор. PORELLALES Schljakov

Сем. Anastrophyllaceae L. Söderstr., De Roo & Hedd.

15. *Barbilophozia lycopodioides* (Wallr.) Loeske

Сем. Ptilidiaceae H. Klinggr.

16. *Ptilidium ciliare* (L.) Hampe

Встречаемость видов в градиенте тундра-лес. Для анализа распределения мхов вдоль градиента выбрали девять часто встречающихся видов. По изменению встречаемости в связи с высотой над уровнем моря они разделены на три группы.

К первой группе отнесены виды, не проявившие реакцию на изменение условий и произрастающие равномерно вдоль всего градиента. К таким видам относятся *Dicranum spadiceum*, *Polytrichum juniperinum* и *Polytrichum commune* (рис.1). Такое распределение для данных видов является ожидаемым, так как для них характерно частое и практически повсеместное распространение на всех континентах (Игнатов, 2003; Дьяченко, 2016).

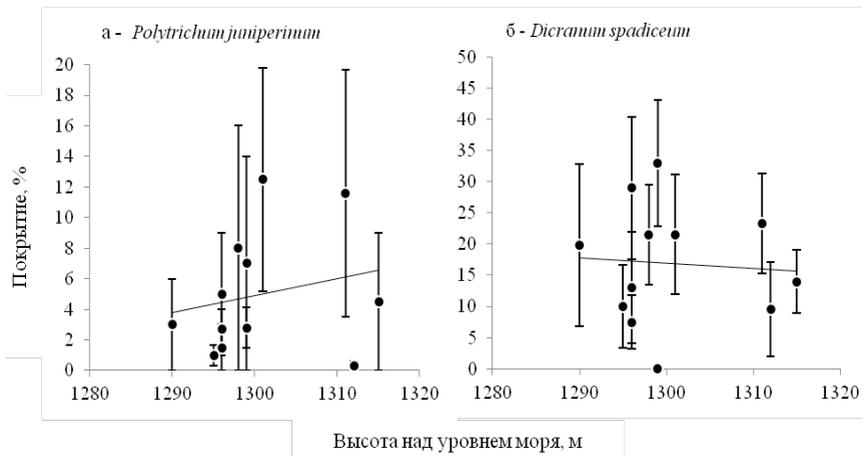


Рис. 1. Равномерное распределение встречаемости видов мхов вдоль градиента тундра-лес в связи с высотой местности на примере *Polytrichum juniperinum* (а) и *Dicranum spadiceum* (б); точка – среднее значение, размах – стандартная ошибка среднего.

Ко второй группе можно отнести виды, не встреченные в области горных тундр, но произрастающие в других сообществах градиента, начиная с зарастающих горных тундр (рис. 2). *Ptilium crista-castrensis*, *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* не встречены в горных

тундрах, но обычны в остальных сообществах градиента. *Dicranum scoparium* встречен только в области леса; *Polytrichum swartzii* не встречается в горных тундрах, а в остальных сообществах градиента при движении сверху вниз увеличивает обилие, хотя по литературным данным вид может произрастать в тундрах, наряду с редколесьями, лесами, торфяниками и др. (Дьяченко, 2016). Однако нужно учитывать, что распространение вида не вполне известно, поскольку некоторые авторы включают его в *P. commune* (Игнатов, 2003).

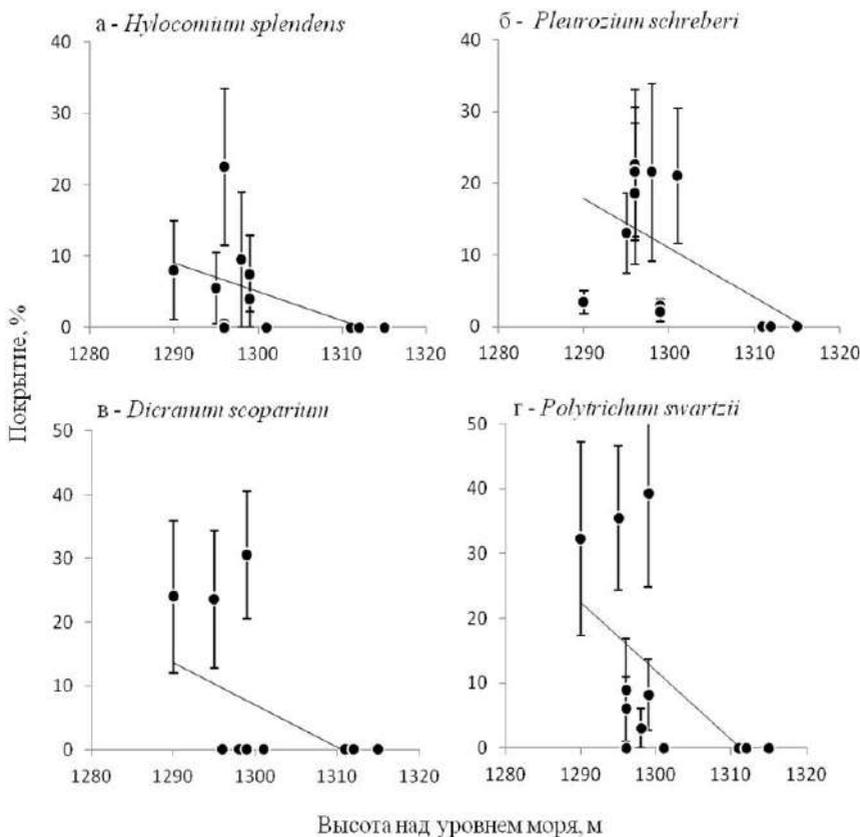


Рис. 2. Встречаемость видов мхов во всем градиенте тундра-лес, за исключением верхних отметок высоты местности: равномерная встречаемость во всем градиенте, помимо горных тундр на примере *Hylocomium splendens* (а) и *Pleurozium schreberi* (б); встречаемость только в области леса на примере *Dicranum scoparium* (в); снижение обилия в градиенте на примере *Polytrichum swartzii* (г); точка – среднее значение, размах – стандартная ошибка среднего.

К третьей группе отнесены виды, наибольшее обилие которых показано на верхних отметках градиента: *Rhytidium rugosum* распространен на участках горных тундр, в зарастающих горных тундрах его обилие снижено, а в других сообществах вид не встречен (рис. 3).

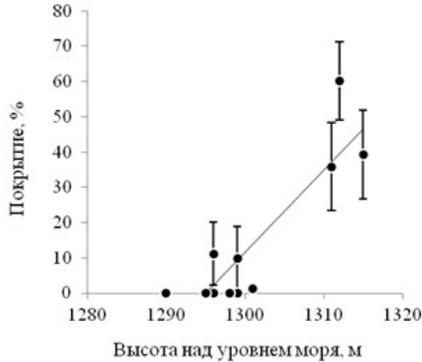


Рис. 3. Преимущественная приуроченность *Rhytidium rugosum* к верхней части градиента с тундровыми сообществами; точка – среднее значение, размах – стандартная ошибка среднего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что эпигейные мхи не индифферентны к изменению условий существования в градиенте между тундровым и лесным сообществами, при этом виды мохообразных по-разному реагируют на изменение условий в градиенте. По встречаемости на трансекте разнотравно-зеленомошный еловый лес – елово-берёзовое криволесье – зарастающая можжевельником горная тундра – овсянницево-ситниковая горная тундра виды мохообразных можно разделить на три группы: равномерно произрастающие вдоль всего градиента; не встречающиеся в области горных тундр, но произрастающие в других сообществах; произрастающие в верхних частях градиента, приуроченных к тундровым сообществам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № АААА-А19-119031890084-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григорьев А.А., Ерохина О.В., Соковнина С.Ю. и др. Продвижение древесно-кустарниковой растительности в горы и изменение состава тундровых сообществ (хр. Зигальга, Южный Урал) // Журнал си-

- бирского федерального университета. Биология.. 2018. Т. 11. № 3. С. 218–236.
- Дьяченко А. П., Дьяченко Е.А.* Мхи горных экосистем Урала. Екатеринбург: Раритет, 2016. 648 с.
- Дьяченко А.П.* Флора мхов Челябинской области. Екатеринбург: УрГПУ, 2011. 301 с.
- Игнатов М.С., Игнатова Е.А.* Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003. 608 с.
- Игнатов М.С., Игнатова Е.А.* Флора мхов средней части европейской России, Т. 2 М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 352 с.
- Фомин В.В., Капралов Д.С., Терентьев М.М.* и др. Пространственно-временная динамика верхней границы леса на Южном Урале во второй половине XX века // Геоинформатика. 2007. Т. 1. С. 56–61.
- Цветаев А.А.* Горы Ирмель (Южный Урал). Физико-географический очерк. Уфа: Типография РУ, 1960. 82 с.
- Шиятов С.Г., Моисеев П.А., Григорьев А.А.* Фотомониторинг древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях Южного Урала за последние 100 лет: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 191 с.
- Шляков Р.Н.* Печеночные мхи Севера СССР, вып. 2. Печеночники: Гербертовы – Геокаликсовые. Ленинград: Наука, 1979. 191 с.
- Шляков Р.Н.* Печеночные мхи Севера СССР, вып. 3. Печеночники: Лофозиевые, Мезоптихиевые. Ленинград: Наука, 1980. 188 с.
- Moiseev P.A., Shiyatov S.G.* Vegetation Dynamics at treeline ecotone in the Ural Highlands, Russia // Ecological Studies. 2003. Vol. 167. P. 423–435.

Пищевая специализация цикадовых (Hemiptera: Cicadina) дендро- и тамнобионтов по материалам, собранным на ООПТ Алтая

Е.Ю. Майорова

Нижегородский государственный университет им. Лобачевского,
г. Нижний Новгород

Ключевые слова: ГПЗ Катунский, ГПЗ Тигирекский, заказник Шавлинский, трофические группы

Цикадовые (Hemiptera: Cicadina) – одна из крупнейших групп насекомых, трофически связанных с растениями, чем обусловлено их участие в качестве консументов первого порядка в различных наземных экосистемах (Емельянов, 1964). В данной работе рассмотрены трофические связи цикадовых, населяющих древесно-кустарниковый ярус.

Насекомые дендро- и тамнобионты формируют особые ассоциации на деревьях и кустарниках, соответственно. Описанию фауны и экологии дендро- и тамнобионтов Европейской части России посвящён ряд исследований (Никанорова, Хрынова, 2004; Николаева и др., 2019). Подобные специальные исследования на территории Алтая нам неизвестны.

Цель данного исследования: выявить особенности пищевой специализации цикадовых дендро- и тамнобионтов по материалам, собранным на ООПТ Алтая.

Для достижения данной цели нами были поставлены следующие **задачи**: 1) определить видовой состав цикадовых дендро- и тамнобионтов; 2) на основе литературных данных объединить полученный материал в трофические группы и оценить их соотношение в каждой из фитобионтных групп; 3) оценить показатели биоразнообразия сообществ цикадовых, населяющих исследованные растения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа проведена в ГПЗ «Катунский» (Республика Алтай), заказнике «Шавлинский» (Республика Алтай) и ГПЗ «Тигирекский» (Алтайский Край) в летние полевые сезоны 2012–2014 гг.

Количественные учёты проводились методом кошения стандартным энтомологическим сачком с подсчётом количества взмахов (Фасулати,

1971). Сводные данные о количестве учётов и собранных экземплярах цикадовых приведены в табл. 1. Насекомые были собраны с 5 видов деревьев и более 10 видов кустарников (список растений представлен в табл. 2). При обработке материала обобщали данные по всем сборам с растений одного вида.

Таблица 1. Сводные данные об объёме материала

Название ООПТ	Кол-во точек учёта	Кол-во экз.	Кол-во экз. на один учёт	Кол-во видов
ГПЗ «Катунский»	13	107	8.2	18
Заказник «Шавлинский»	14	126	9	30
ГПЗ «Тигирекский»	32	687	21.3	49

Таблица 2. Показатели разнообразия сообществ цикадовых, зарегистрированных с деревьев (*) и кустарников

Вид растения	Кол-во видов цикадовых	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона
<i>Betula rotundifolia</i>	4	1.06	0.62
<i>Caragana arborescens</i>	13	2.13	0.86
<i>Lonicera</i> spp.	6	1.59	0.82
<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	9	0.92	0.86
<i>Salix</i> spp.	35	2.96	0.92
<i>Sibiraea altaiensis</i>	5	1.48	0.86
<i>Spiraea</i> spp.	8	1.81	0.82
<i>Rosa spinosissima</i>	7	0.49	0.23
<i>Rubus idaeus</i>	4	1.23	0.73
* <i>Abies sibirica</i>	10	1.50	0.69
* <i>Betula pendula</i>	16	0.86	0.76
* <i>Picea obovata</i>	10	1.93	0.84
* <i>Pinus sibirica</i>	7	1.58	0.77
* <i>Populus laurifolia</i>	5	1.30	0.70

Далее собранных насекомых идентифицировали до вида с использованием различных определителей и частных работ; правильность определения материала была проверена д.б.н., проф. Г.А. Ануфриевым. Принадлежность видов к конкретным трофическим группам устанавливали по литературным данным. Собранный материал хранится в коллекции автора. Все расчёты и статистическую обработку выполня-

ли с использованием программы MS Excel. Дендрограмму построили в программе CLW (версия 4.01 beta) с использованием метода кластеризации UPGMA, сравнение выборок проводили на основе коэффициента Жаккара.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведённого исследования был собран и идентифицирован 71 вид (49 родов, 5 семейств) цикадовых; 36 из них (50.7%) трофически связаны с различными деревьями и/или кустарниками (т.е. являются истинными дендро/тамнобионтами); большинство оставшихся видов являются оппортунистами. Это косвенно подтверждают количественные данные (рис. 1). Массовые виды, не являющиеся дендро-/тамнобионтами: *Aphrophora alni* (Fallén, 1805), *Errastunus ocellaris* (Fallén, 1806), *Eupteryx atropunctata* (Goeze, 1778), – широкие полифаги; *Gargara genistae* (Fabricius, 1775) – широкий олигофаг семейства Fabaceae.

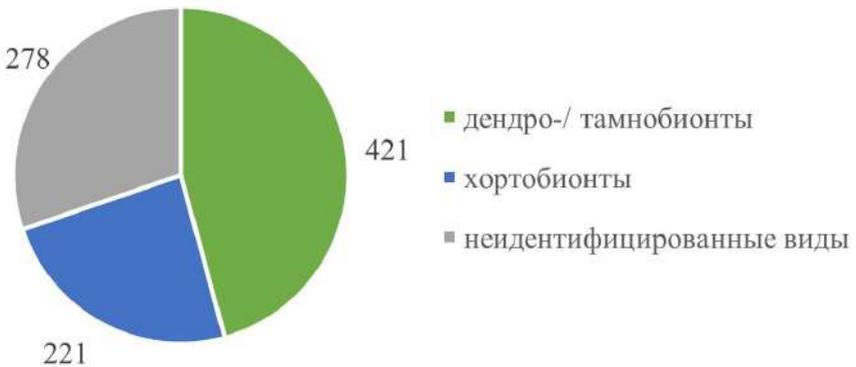


Рис. 1. Количественное соотношение истинных дендро/тамнобионтов и прочих видов (на рисунке отмечено количество особей для каждой группы).

Изучение трофических связей цикадовых показало существование разных типов пищевой специализации: (1) широкие полифаги; (2) узкие полифаги; (3) широкие олигофаги; (4) узкие олигофаги и (5) монофаги (Емельянов, 1964). Данная классификация была применена к нашему материалу (рис. 2).

Самую крупную трофическую группу, как по численности, так и по видовому богатству составляют узкие олигофаги (всего 19 видов и 188 особей: 12 видов и 157 особей – для истинных дендро/тамнобионтов), что согласуется с концепцией А.Ф. Емельянова (1964). Однако при сопоставлении соотношения прочих трофических групп в полной выборке и выборке истинных дендро/тамнобионтов отмечено расхожде-

ние в пропорциях, что позволяет выдвинуть предположение о наличии тренда к сужению пищевой специализации среди цикадовых дендро- и тамнобионтов.

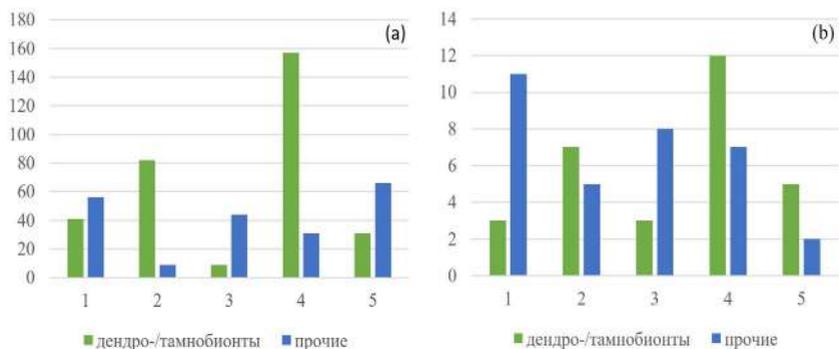


Рис. 2. Соотношение трофических групп по численности (а) и количеству видов (б).



Рис. 3. Дендрограмма UPGMA на основе индекса Жаккара, характеризующая население цикадовых на исследованных растениях.

Монофаги достаточно типичны (хотя и не очень многочисленны) среди дендробионтов (например, *Aguriahana germari* (Zetterstedt, 1840), *Kybos abstrusus* (Linnavuori, 1949), *Pithyotettix sibiricus* (Mitjaev, 1965)). Также описанные сообщества цикадовых-тамнобионтов отли-

чаются большим обилием и разнообразием по сравнению с сообществами дендробионтов (табл. 2). Это может быть связано с тем, что дендробионтные виды имеют более тесные связи со своими кормовыми растениями, а также с особенностями использованной методики учёта насекомых.

Как видно из дендрограммы UPGMA (рис. 3), в кластеры объединены сообщества, населяющие родственные виды растений. Деревья и кустарники, с характерными, как максимальным (*Salix* spp.), так и минимальным (*Juniper* sp.) показателями разнообразия, выделены в обособленные кластеры. Также в отдельный кластер выделено население *Populus laurifolium*, который является редким на территории Алтая.

ВЫВОДЫ

1. Идентифицирован 71 вид (49 родов и 5 семейств) цикадовых дендро- и тамнобионтов.
2. Для дендробионтов отмечен тренд к сужению пищевой специализации относительно хортобионтов.
3. Для тамнобионтов отмечено большее обилие и разнообразие по сравнению с дендробионтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Емельянов А.Ф. Пищевая специализация цикад (*Auchenorrhyncha*) на материале фауны Центрального Казахстана // Зоологический журнал. 1964. Т. 43. № 7. С. 1000–1009.
- Никанорова О.Г., Хрынова Т.Р. Дендрофильные полужесткокрылые (*Heteroptera*) юго-запада Нижегородского Заволжья // Научные чтения памяти профессора В.В. Станчинского. 2004. Вып. 4. С. 227–230.
- Николаева А.М., Ручин А.Б., Трушицина О.С. и др. Исследование фауны полужесткокрылых насекомых-дендробионтов (*Insecta: Heteroptera*) с использованием метода барьерных ловушек // Известия СПбЛТА. 2019. Вып. 228. С. 120–134
- Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.

Строение корней растений, преобладающих на разных этапах сукцессии на золоотвалах ВТГРЭС

А.В. Малахеева, Д.Е. Тукова, С.А. Черепанов

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: арбускулярная микориза, золоотвал, эктомикориза, корневые системы, техногенные сукцессии

Важность изучения подземной сферы растений для понимания механизмов сукцессионных процессов была показана давно (Tilman, 1988). На начальных этапах первичных сукцессий встречаются однолетние виды с выраженными рудеральными свойствами, для тонких корней которых характерны, как правило, отсутствие микоризы, высоко разветвленные корневые системы. У большинства растений, появляющихся позднее, хорошо развита арбускулярная микориза (АМ), выше плотность и диаметр корней. На поздних этапах сукцессии доминируют древесные виды, корни которых образуют эктомикоризу (ЭМ), имеют ещё большие диаметр и плотность.

Для ответа на вопрос, как меняются функциональные признаки растений в первичных сукцессиях, подходят сообщества на разновозрастных техногенных субстратах, которые сформированы в единых биоклиматических условиях и элементах рельефа. При этом прямые измерения признаков корней и микориз у растений разных этапов сукцессии отсутствуют. **Цель работы** – выявить закономерности изменения признаков поглощающих корней у видов растений, преобладающих на разных этапах сукцессии самозарастания золоотвала на Среднем Урале.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование провели на пробных площадях многолетнего наблюдения за динамикой растительного покрова. В качестве модельных участков выбрали разновозрастные золоотвалы Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС), сложенные золой бурых углей с высокой щелочностью и неблагоприятными физическими свойствами (Шилова, Зуева, 1969). Этапы сукцессии характеризовали, учитывая абсолютную (в годах) длительность зарастания и качественные измерения проективного покрытия надземных частей растений в соответствии со схемой А.Г. Воронова (1973).

Центральная часть «молодого» золоотвала заполнена водой. Заращение участков, с которых вода отступила, началось в 2016 г. Возраст растительных группировок возрастает по мере удаления от уреза воды. В этом комплексном градиенте были выделены два участка начальных этапов сукцессии: I – простые растительные группировки однолетних растений с преобладанием *Chenopodium rubrum* L., *Rorippa* Scop., *Artemisia vulgaris* L., *A. absinthium* L., *Epilobium* L.; II – сложные растительные группировки многолетних растений *Melilotus albus* Medik., *M. officinalis* (L.) Lam., *Tussilago farfara* L., *Trifolium pratense* L. На «старом» отвале заращение началось в 1965–1968 гг., поэтому на нем представлены разновозрастные участки более поздних этапов сукцессии: III – разнотравно-злаковый луг с доминированием АМ видов, например: *Pimpinella saxifraga* L., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Poa pratensis* L.; IV – мелколиственный лес с доминированием ЭМ видов в древесном ярусе, например: *Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth. Для характеристики сообществ каждого этапа сукцессии заложили по участку площадью около 10000 м², однородных по рельефу и растительности, в которых выделили по три пробных площади размером 10x10 м (в луговых сообществах) и 20x20 м (в лесном сообществе).

Для реконструкции хода сукцессии использовали имеющиеся геоботанические описания. На всех участках собирали особи вместе с корневыми системами или части корневых систем видов, имеющих наибольшее проективное покрытие надземных частей.

Всего собрали и изучили 29 видов растений по 6–9 видов на каждом участке. У каждой особи или в каждом образце определяли тип микоризы, интенсивность микоризации, толщину корней и их анатомических зон. Тип микоризы и интенсивность микоризации в корнях трав изучали после фиксации в 70% этаноле по стандартной методике (Селиванов, 1981) после мацерации корней в КОН и окрашивании мицелия анилиновым синим. При анализе микоризы у *B. pendula* и *P. tremula* с ЭМ и *Pyrola rotundifolia* L. с арбутоидной микоризой (АрМ) при увеличении в 400 раз регистрировали долю микоризных корневых окончаний, имеющих микоризные морфологические структуры. Это делали, исследуя срезы толщиной 10–20 мкм, полученные после заморозки с помощью ротационного микротомы. Толщину корней и их анатомических зон также определяли на поперечных срезах при увеличении в 400 раз, по пять повторностей на особь. Для анализа особенностей строения корней у растений разных этапов сукцессии использовали однофакторный ANOVA. Учётной единицей во всех случаях было среднее по пять повторностям (особям, образцам) значение признака у вида на каждом этапе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе сукцессии зарастания поверхности золоотвала полностью меняется состав видов растений, вследствие чего происходит смена жизненных форм и типов микориз. Из-за смены видового состава сообщества возможность изучить изменение признаков у одних и тех же видов на разных этапах сукцессии отсутствует. Так, на участке мелколистственного леса доминируют древесные растения. При этом наиболее заметные различия рассмотренных признаков корней выявлены между этапом мелколистственного леса и предшествующими этапами. Таким образом, полученные результаты в значительной степени скоррелированы со сменой жизненных форм, для которых, в свою очередь, характерны разные типы микориз.

На начальных этапах сукцессии преобладают малолетние виды со стержнекорневой системой. С возрастом в сообществах начинают преобладать травянистые корневищные многолетники, которые сменяются деревьями и полукустарничками. К разным жизненным формам приурочены разные типы микориз, сопряженно с которыми различают строение корневой системы и признаки тонких корней. На этапе сукцессии I встречены преимущественно виды семейств *Chenopodiaceae* и *Brassicaceae*, которые редко образуют микоризу. У некоторых потенциально микоризных видов этапа II (*M. officinalis*, *Persicaria maculosa* Gray) АМ либо отсутствовала, либо в среднем встречалась редко (10%) (рис. 1). Для этих растений был характерен наименьший диаметр корня и стелы.

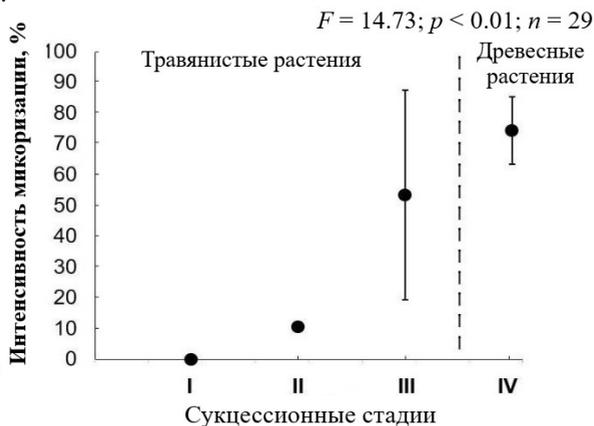


Рис. 1. Интенсивность микоризации на разных стадиях сукцессии.

Здесь и на рис. 2 сукцессионные стадии: I – простая растительная группировка; II – сложная растительная группировка; III – разнотравный луг; IV – мелколистственный лес. Размах – доверительный интервал; гомогенные группы, обозначенные одинаковыми буквенными индексами, определены по критерию Тьюки.

На этапе сукцессии III АМ была лучше развита и в среднем её интенсивность была 55%. Значения диаметра корня и стелы не имели значимых различий на этом и на начальных этапах сукцессии (рис. 2).

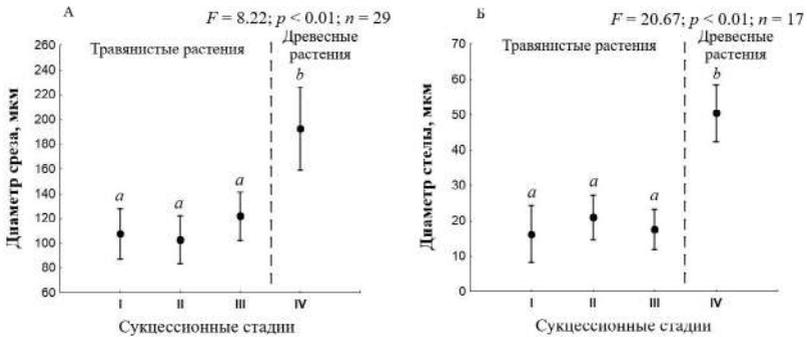


Рис. 2. Диаметр среза (А) и стелы (Б) в корнях последнего и предпоследнего порядка на разных стадиях сукцессии.

На участках отвала возрастом 50 лет и более доминируют *B. pendula* и *P. tremula*, у 59–95% корней которых были структуры, характерные для ЭМ (мицелиальные чехлы и сеть Гартига). У *P. rotundifolia* подтверждены структуры, характерные для АрМ (мицелиальные чехлы, сеть Гартига, гифальные кольца внутри клеток корней). У ЭМ и АрМ видов зафиксирован наибольший поперечный размер корней и диаметр стелы. Так у *B. pendula* диаметр корня варьировал от 173 до 210 мкм, а диаметр стелы от 46 до 60 мкм, что практически в 2 раза выше, чем у растений этапов сукцессий I – III. Размер корней древесных растений был увеличен как за счёт размеров корня, так и грибного чехла на его поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На начальном этапе первичной сукцессии техногенного отвала чаще встречены немикоризные виды, а у потенциально арбускулярно-микоризных видов микориза отсутствует или слабо развита. На более старых участках происходит увеличение встречаемости АМ видов, у которых возрастает успешность микоризообразования, но диаметр корня и стелы сопоставим с растениями более ранних этапов сукцессий. На участках возрастом 50 лет и более доминируют ЭМ и АрМ виды растений, для которых характерно увеличение размеров корня и стелы. Последовательность смен видов от немикоризных к арбускулярно микоризным и далее к видам со специализированными экто-, эрикоидными и прочими типами микориз устойчиво воспроизводится в разных типах первичных сукцессий (Смит, Рид, 2012; Веселкин и др., 2015).

Полученные в ходе работы данные не позволяют однозначно определить, в какой степени установленные различия признаков корней следует интерпретировать как сукцессионную динамику, а в какой – как простое различие между травянистыми и древесными растениями. Для прояснения этого вопроса необходимы специальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселкин Д.В., Лукина Н.В., Чибрик Т.С.* Соотношение микоризных и немикоризных видов растений в первичных техногенных сукцессиях // Экология. 2015. № 5. С. 417–424.
- Воронов А.Г.* Геоботаника. М.: Высшая Школа, 1973. 384 с.
- Селиванов И.А.* Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.
- Смит С., Рид Д.* Микоризный симбиоз. М.: КМК, 2012. 776 с.
- Шилова И.И., Зуева Г.В.* Естественная растительность золоотвала Верхнетагильской ГРЭС // Растительность и промышленные загрязнения: рефераты докладов и сообщений IV Уральского, научно-координационного совещания по проблемам. Свердловск: УрГУ, 1969. С. 170–173.
- Tilman D.* Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. Princeton: Univ. Press, 1988. 360 p.

Особенности пространственно-онтогенетической структуры популяций парнолистника перистого (*Zygophyllaceae*)

А.Л. Мартынова

МБОУ Гимназия №1 им. Н.Т. Антошкина, г. Кумертау

Ключевые слова: *Zygophyllum pinnatum*, пространственно-онтогенетическая структура, функция Рипли, кросс-функция Рипли

В работе изучена пространственно-онтогенетическая структура популяции парнолистника перистого *Zygophyllum pinnatum* Cham. (*Zygophyllaceae*). Это многолетнее растение с мощным многоглавым деревенеющим каудексом. Цветет в мае–июне. Плодоносит в июле–августе. Размножается семенами. Ксерофит, гипсофил, петрофит (Красная ..., 2011). Актуальность исследований обусловлена редкостью вида (занесен в Красные книги шести регионов, категория 2) и его слабой изученностью. С 2015 г. А.Н. Мустафина, О.А. Каримова, Я.М. Голованов и Л.М. Абрамова (Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН) проводят исследования популяций *Z. pinnatum* на территории Республики Башкортостан, Оренбургской обл. и Актюбинской обл. (KZ). Часть материалов представлена в работе (Каримова и др., 2017), полные результаты исследований в настоящее время подготовлены к публикации. О других исследованиях и работах нам не известно, поэтому можно утверждать, что пространственная структура популяций парнолистника перистого была изучена впервые. Пространственно-онтогенетическая структура популяции – иерархическая система паттернов разных онтогенетических групп, специфика которых задана генеративными особями, достигшими реализации морфогенеза жизненной формы, и окончательно определена внутривидовыми и межвидовыми отношениями растений и абиотическими факторами среды (Фардеева, 2014).

Цель исследования – выявить особенности пространственно-онтогенетической структуры популяций *Z. pinnatum*. Поставлены следующие **задачи**: 1) изучить локальные особенности плотности и проективного покрытия популяции; 2) характер взаимного размещения особей и онтогенетических групп *Z. pinnatum*; 3) сравнить структуры на площадках с различными экологическими условиями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в июне–июле 2020 г. Ценопопуляция *Z. innatum* расположена в Куюргазинском р-не Республики Башкортостан на холмах с обнажениями гипса, по правому берегу р. Тугустемир, напротив д. Разномойка. Для исследования было проведено картирование трех площадок размером 5×5 м: 1) в средней части гипсового обнажения, грунт – элювий гипса, ОПП 30%; 2) в местах выхода твердого гипса, ОПП 15%; 3) на границе с полынно-злаковой степью, грунт – смесь элювия гипса и красной глины, ОПП 50%, описано задержание злаками. Кроме положения особей фиксировали диаметр куста и возрастную группу – прегенеративные (pre), генеративные (gene), постгенеративные (post).

Пространственную структуру изучали методами анализа точечных образов, реализованными в пакете spatstat статистической среды R (Baddeley et al., 2015). Локальные значения плотности и проективного покрытия получены методом сглаженной аппроксимации (Bailey, Gatrell, 1995) на основе ядерной функции (Silverman, 1986; Scott, 1992), размер сетки 3.9×3.9 см. Анализ взаимного расположения особей проводили путем расчёта функций Рипли (Ripley, 1976; 1977), для удобства представленных в линеаризованном виде (Besag, 1977). Анализ взаимного расположения онтогенетических групп проводили путем расчёта кросс-функций Рипли, при этом учитывали две группы pre и adult=gene+post. Для площадки 2 эту часть исследований не проводили, т.к. из-за низкого числа прегенеративных особей невозможно корректно рассчитать кросс-функцию Рипли). Значимость отклонений функций Рипли и кросс-функций Рипли оценивали методом Монте Карло (Besag, Diggle, 1977) на основе 299 симуляций случайного размещения (CSR).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количество растений (с учётом онтогенетических групп), плотность, проективное покрытие, их локальные изменения (min, max – ранговые, mean – среднее) приведены в таблице. В целом популяция неоднородна, в её структуре выделены участки пониженной и повышенной плотности. Значения плотности варьируют за счёт изменений плотности прегенеративных растений, тогда как плотность генеративных растений постоянна, около 0.20–0.24 экз./м². Проективное покрытие низкое – 0.7–2.3%. Самое высокое проективное покрытие на площадке 2, здесь отмечены наиболее крупные (примерно вдвое больше среднего) генеративные особи. На площадке 3 наблюдается большой разброс локальных значений плотности и проективного покрытия, т.е. пространственная неоднородность.

Таблица. Характеристики изученной популяции *Z. pinnatum*

№	количество особей, экз.				плотность, экз./м ²				проективное покрытие, %			
					сред- няя	локальные значения			сред- няя	локальные значения		
	всего	pre	gene	post		min	max	mean		min	max	mean
1	16	10	5	1	0.64	0.30	1.21	0.58	0.7	0.31	1.34	0.62
2	9	3	6	0	0.36	0.19	0.53	0.34	2.3	0.76	4.66	2.13
3	34	25	6	3	1.36	0.00	5.31	1.39	1.0	0.00	6.11	1.07

Графики функций Рипли представлены на рис. 1. На площадках 1 и 2 особи *Z. pinnatum* распределены случайным образом. На границе с петрофитной степью (площадка 3) распределение континуально-агрегированное, т.е. особи образуют скопления (диаметром 1.4 м) с сохранением случайного распределения внутри них. Такое изменение вызвано неоднородностью внешних условий, на наш взгляд – конкурентным влиянием дерновинных злаков.

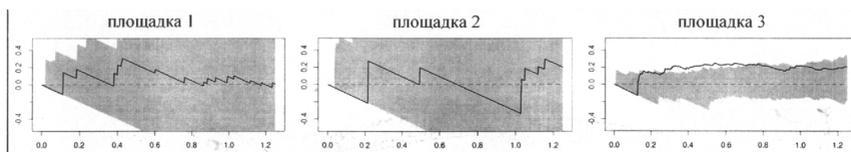


Рис. 1. Графики функций Рипли (функция Рипли для однородного пуассоновского процесса указана пунктиром, серым цветом выделена зона незначимых отклонений).

На рис. 2 представлены кросс-функции Рипли. Взрослые растения распределены случайным образом. Такое размещение характерно для генеративных особей моноцентрических каудексообразующих растений в оптимальных условиях и продиктовано стремлением популяции к эффективному распределению ресурсов и снижению внутривидовой конкуренции (Фардеева, 2014). Растения прегенеративной группы образуют скопления только на границе фитоценозов. Положение прегенеративных растений не зависит от положения взрослых особей. т.е. вокруг генеративных растений не образуются скопления молодых особей.

Для большей части гипсового обнажения характерны экологические условия как на площадке 1, наблюдаемую здесь структуру примем за «эталон». На участках с выступами твердого гипса плотность растений снижается, т.к. ухудшаются условия для прорастания семян, но размеры особей увеличиваются из-за низкой конкуренции. На границе фитоценозов увеличивается плотность растений прегенеративной группы, т.к. смесь элювия гипса и глины лучше удерживает влагу, что способствует прорастанию семян.

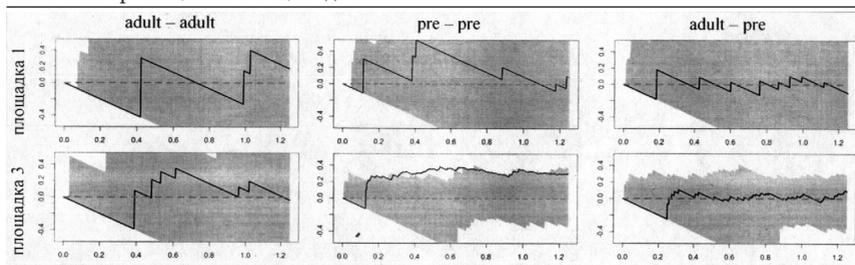


Рис. 2. Графики кросс-функций Рипли.

ВЫВОДЫ

Основным инвариантом структуры, который обусловлен особенностями вида, является случайное размещение генеративных особей с постоянной плотностью. Влияние внешних факторов приводит к изменениям количества прегенеративных особей и влияет на характер их размещения. В условиях низкой конкуренции отмечено увеличение размеров генеративных особей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Каримова О.А., Абрамова Л.М., Голованов Я.М. Анализ современного состояния популяций редких видов растений памятника природы Троицкие меловые горы (Оренбургская обл.) // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 1 (70). С. 51–59.
- Красная книга Республики Башкортостан: в 2 т. Т. 1 : Растения и грибы 2-е изд., доп. и переработ. Уфа: МедиаПринт, 2011. 384 с.
- Фардеева М.Б. Экологические и биоморфологические закономерности пространственно-онтогенетической структуры популяций растений, динамика и мониторинг // Дис. ... док. биол. наук. Казань, 2014. 352 с.
- Baddeley A., Rubak E., Turner R. Spatial Point Patterns. Methodology and Applications with R. Boca Raton-London-New York: Chapman and Hall/CRC, 2015. 828 p.
- Bailey T.C., Gatrell A. Interactive spatial data analysis. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1995. 413 p.
- Besag J.E. Comments on Ripley's paper // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 1977. Vol. 39. P. 193–195.
- Besag J.E., Diggle P.J. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern // Applied Statistics, 1977. Vol. 26. P. 327–333.
- Ripley B.D. The second-order analysis of stationary point processes // Journal of Applied Probability. 1976. № 13. P. 255–266.

-
- Ripley B.D.* Modelling spatial patterns // Journal of the Royal Statistical Society. Series B. 1977. № 39. P. 172–212.
- Scott D.W.* Multivariate density estimation. Theory, Practice and Visualization. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1992. 384 p.
- Silverman B.W.* Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman and Hall, 1986. 175 p.

Почвенный банк семян лесных экосистем в районе Карабашского медеплавильного комбината

Д.А. Молчанова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: банк семян, лесная подстилка, проростки, таксономическое разнообразие, тяжелые металлы

Банки семян ответственны за восстановление наземной растительности при её нарушениях (He et al., 2020). Изучение почвенных банков семян (ПБС) позволяет предсказывать возможные пути восстановления растительности после нарушений, которое часто начинается из семян, более или менее длительное время лежащих в почве в состоянии покоя.

Исследования ПБС часто проводят для понимания стратегии восстановления растительных сообществ сельскохозяйственных земель (Wagner et al., 2003; Cho et al., 2018; Mohammed, Denboba, 2020), а экосистемы, подвергшиеся промышленному загрязнению, несмотря на глобальные масштабы таких воздействий, почти не изучены. Неблагоприятное воздействие загрязнения на растительность вблизи металлургических заводов хорошо известно (Алексеев, Ярмишко, 1990; Воробейчик и др., 1994; Коротева и др., 2014 и др.), однако данных о влиянии загрязнений на ПБС мало (Huopalaainen et al., 2000, 2001; Salemaa, Uotila, 2001).

Изучение ПБС может приблизить нас к пониманию механизмов восстановления экосистем вблизи металлургических предприятий и к обоснованию способов рекультивации загрязнённых территорий. **Цель** работы: оценить разнообразие и обилие банка семян лесных почв, загрязнённых тяжёлыми металлами в результате деятельности крупного медеплавильного комбината. Были выдвинуты две гипотезы: 1) в лесах, нарушенных в результате загрязнения выбросами крупного медеплавильного комбината, разнообразие и обилие ПБС снижается; 2) разнообразие и обилие ПБС в лесных подстилках выше, чем в гумусовом горизонте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование провели на Южном Урале, в Челябинской области. Почву для эксперимента из почвенных горизонтов (A0 и A1) собрали

с четырёх пробных площадей (ПП), расположенных на расстояниях 6–9 км в северо-восточном направлении от Карабашского медеплавильного комбината (КМК) (импактная зона), и с четырёх ПП, расположенных в 48–50 км в южном направлении от КМК (Ильменский государственный заповедник – ИГЗ), в сосновых лесах с разным возрастом древостоя и с разной давностью последнего пожара. С каждой ПП отбирали почву из гумусового горизонта (четыре независимые пробы) и подстилки (также четыре пробы). Эту почву использовали для того, чтобы установить, какие проростки появляются из ПБС.

Общий дизайн эксперимента: 2 зоны (импактная и фоновая) × 4 площади × 2 почвенных горизонта × 4 повторности = 64 сосуда. Размеры вегетационного сосуда 40×20×10 см. Эксперимент проводили на территории ИГЗ с 6 июня по 16 августа 2018 г. (72 дня). Состав, разнообразие и обилие ПБС исследовали методом анализа динамики прорастания семян (Работнов, 1982). Подсчитывали и гербаризировали проростки в день завершения эксперимента. Особи неустановленных таксонов кодировали и учитывали как отдельные категории.

Количественный химический анализ содержания Cu, Zn, Cd и Pb в лесной подстилке проводили в ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН в центре коллективного пользования оборудованием по исследованию минерального сырья. Для каждой площади рассчитан индекс техногенной нагрузки на основании оценок содержания Cu, Zn, Cd и Pb в кислотных вытяжках как среднее превышение (количество раз) концентраций металлов в пробе по сравнению с наименее загрязнённой пробой (Воробейчик и др., 1994).

В качестве статистического метода использовали общие линейные модели (GLM; ковариационный анализ) с помощью программы JMP Pro 13.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За один вегетационный период в 64 сосудах взошли семена 51 таксона растений травяно-кустарничкового яруса. Таксономическое богатство и обилие ПБС снижались с ростом техногенной нагрузки (рис. 1). В среднем в одном сосуде с ростом уровня загрязнения число всходов снижалось с 9.56 ± 1.40 до 1.69 ± 0.63 в подстилке и с 20.13 ± 2.10 до 9.00 ± 2.45 в гумусовом горизонте. Эти реакции были статистически значимы в двухфакторном GLM (горизонт: $F_{(1,60)} = 27.45$; $P < 0.001$; загрязнение: $F_{(1,60)} = 36.09$; $P < 0.001$). Число таксонов в сосуде снижалось с 3.75 ± 0.49 до 1.31 ± 0.47 в подстилке и с 7.50 ± 0.72 до 3.63 ± 0.83 в гумусовом горизонте. Эти реакции также были статистически значимы (горизонт: $F_{(1,60)} = 24.36$; $P < 0.001$; загрязнение: $F_{(1,60)} = 32.17$; $P < 0.001$).

Средние значения признаков, вид графиков на рис. 1 и результаты GLM-оценивания свидетельствуют, что и число таксонов (богатство) и число особей (обилие) существенно различаются в зависимости от почвенного горизонта. В гумусовом горизонте и тот и другой показатель при любом уровне загрязнения выше, чем в подстилке.

Чем выше обилие ПБС, тем выше вероятность встретить больше таксонов (рис. 2). Эта зависимость статистически значима, но эффект горизонта не выражен (обилие: $F_{(1;60)} = 175.69$; $P < 0.01$; горизонт: $F_{(1;60)} = 0.29$; $P = 0.59$). Фактически, зависимости «число особей – число таксонов» в обоих почвенных горизонтах идентичны.

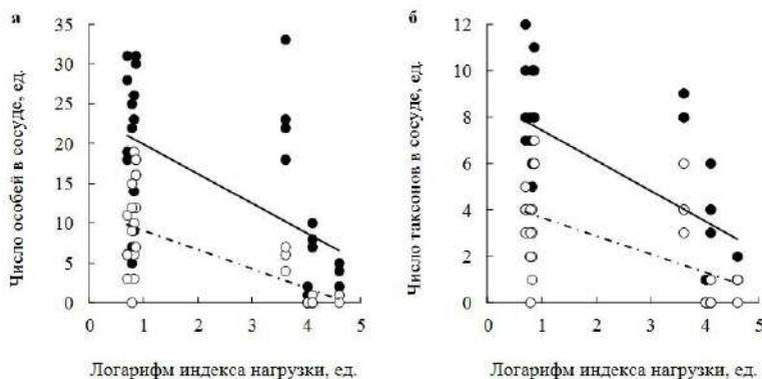


Рис. 1. Зависимость обилия (а) и числа таксонов (б) проростков из почвенного банка семян в сосуде на почве из горизонта А1 (черные маркеры и сплошная линия тренда) и из горизонта А0 (белые маркеры и штрихпунктирная линия тренда) от содержания тяжелых металлов в субстрате.

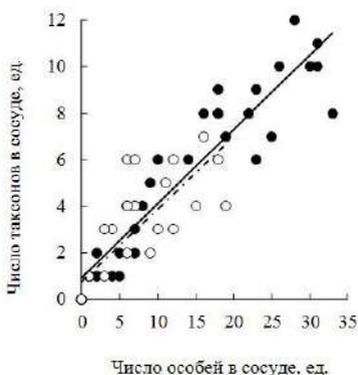


Рис. 2. Зависимость числа таксонов проростков из ПБС от их обилия в сосуде на почве из горизонта А1 (черные маркеры и сплошная линия тренда) и из горизонта А0 (белые маркеры и штрихпунктирная линия тренда).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первая гипотеза о снижении разнообразия и обилия ПБС в лесах, нарушенных в результате загрязнения выбросами крупного медеплавильного комбината, подтвердилась. В условиях загрязнения лесных экосистем тяжёлыми металлами разнообразие и обилие ПБС в сосновых лесах заметно снижено; примерно в 2 раза снижено разнообразие и примерно в 2–3 раза – обилие. Следовательно, нарушенные загрязнённые леса не содержат обильного и разнообразного банка семян.

Вторая гипотеза о том, что разнообразие и обилие ПБС в лесных подстилках выше, чем в гумусовом горизонте, не подтвердилась. По нашим данным, техногенные подстилки и подстилки фоновых, т.е. не загрязнённых, сосновых лесов обеднены покоящимися семенами по сравнению с нижележащими почвенными горизонтами. Однако во многих публикациях подчеркнута преимущественная локализация ПБС именно в верхних почвенных горизонтах – подстилках (Huopalainen et al., 2000; Meerts, Grommesch, 2001). Плохое прорастание семян из ПБС подстилок в нашем случае может быть связано с большой загрязнённостью и, вероятно, токсичностью подстилки по сравнению с нижележащими горизонтами и с её неблагоприятным водно-воздушным режимом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность за помощь в проведении эксперимента сотрудникам Ильменского заповедника: с.н.с., к.б.н. Н.Б. Куянцева, м.н.с. А.Г. Мумберу, вед. инженеру А.Б. Потапкину

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН №ААА-А-А19-119031890084-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А., Ярмишко В.Т.* Влияние атмосферного загрязнения двуокисью серы с примесью тяжелых металлов на строение и продуктивность северотаежных древостоев // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 105–115.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Коротеева Е.В., Вейсберг Е.И., Гаверилкина С.В., Чащин П.В.* Трансформированная растительность в зоне аэрального загрязнения Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) // Проблемы региональной экологии. 2014. № 6. С. 96–103.

- Работнов Т.А.* Жизнеспособные семена в почвах природных биогеоценозов СССР // Теоретические и прикладные аспекты биогеографии. М.: Наука, 1982. С. 35–59.
- Cho Y-C., Lee S-M., Lee C-S.* Floristic composition and species richness of soil seed bank in three abandoned rice paddies along a seral gradient in Gwangneung Forest Biosphere Reserve, South Korea // *Journal of Ecology and Environment*. 2018. Vol. 42. № 12. P. 1–13.
- He X., Yuan L., Wang Z.H.* et al. A study of soil seed banks across one complete chronosequence of secondary succession in a karst landscape // *PeerJ*. 2020. Vol. 8. № e10226. P. 1–23.
- Huopalainen M., Tuittila E.-S., Vanha-Majamaa I.* et al. Effects of Long-Term Aerial Pollution on Soil Seed Banks in Drained Pine Mires in Southern Finland // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2001. Vol. 125. P. 69–79.
- Huopalainen M., Tuittila E.-S., Vanha-Majamaa I.* et al. The potential of soil seed banks for revegetation of bogs in SW Finland after long-term aerial pollution // *Annales Botanici Fennici*. 2000. Vol. 37. P. 1–9.
- Meerts P., Grommesch C.* Soil seed banks in a heavy-metal polluted grassland at Prayon (Belgium) // *Plant Ecology*. 2001. Vol. 155. P. 35–45.
- Mohammed S.A., Denboba M.A.* Study of Soil Seed Banks in Ex-closures for Restoration of Degraded Lands in the Central Rift Valley of Ethiopia // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. 956. P. 1–9.
- Salemaa M., Uotila T.* Seed bank composition and seedling survival in forest soil polluted with heavy metals // *Basic and Applied Ecology*. 2001. Vol. 2. № 3. P. 251–263.
- Wagner M., Poschlod P., Setchfield R.P.* Soil seed bank in managed and abandoned semi-natural meadows in Soomaa National Park, Estonia // *Annales Botanici Fennici*. 2003. Vol. 40. № 2. P. 87–100.

Биоиндикация загрязнения р. Узгинка (Якшур-Бодьинский район Удмуртской республики) по организмам макрозообентоса

И.А. Мухин

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск

Ключевые слова: биоиндикация, макрозообентос, малые реки, Узгинка

Малые реки – самые многочисленные среди водоёмов и водотоков. Благодаря их небольшому размеру, развивающиеся в них сообщества очень чувствительны к изменению условий среды. Крупные реки из-за полноводности медленнее реагируют на изменения. Изучая малые реки, можно судить об экологической обстановке на территории, а также об антропогенной нагрузке.

Река Узгинка – одна из малых рек Якшур-Бодьинского района Удмуртской республики. Исток реки расположен в лесополосе вблизи д. Порва, впадает в р. Чур, правый приток р. Иж. Протяжённость составляет 18 км. Площадь водосбора 90 км². Залесенность бассейна – 69%, заболоченность – 1%. В бассейне реки преобладает сельскохозяйственное загрязнение: пастбища крупного рогатого скота, сельскохозяйственный завод, населённые пункты и поля для сенокоса. Но в основном она окружена хвойным лесом.

Макрозообентос (МЗБ) – совокупность беспозвоночных крупнее 2 мм, населяющих дно водных объектов, водную растительность, а также другие субстраты. **Цель** работы – оценка качества воды р. Узгинки с помощью биоиндикации по организмам макрозообентоса. Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**: 1) определить видовой состав МЗБ реки; 2) провести биоиндикацию загрязнения реки по организмам МЗБ; 3) оценить экологическое состояние р. Узгинка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений и МЗБ отбирали в летне-осенний период 2018–2020 гг. с помощью гидробиологического скребка (Методические рекомендации..., 1984). Всего отобрано 84 количественных и 16 качественных проб на 10 проточных участках и в 2 прудах (в д. Порва и в с. Кекоран). Одновременно со сбором бентоса учитывали скорость

течения, температуру, содержание растворённого кислорода, глубину и ширину русла, а также тип грунта.

Для оценки экологического состояния реки рассчитывали следующие параметры: численность, биомасса, число видов, индекс Шеннона, выровненность по Пайлоу, сапробность по Пантле и Букку, олигохетный индекс Гуднайта–Уитлея, доли отдельных представителей МЗБ в сообществе (Шитиков, 2005).

Статистическую обработку данных провели с использованием пакета программ Statistica 10.

В связи с ненормальным распределением экспериментальных данных, для статистического анализа использовали непараметрические методы сравнения для множественных переменных (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, критерий Краскела–Уоллеса).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Скорость течения на проточных участках менялась от 0.04 до 0.6 м/сек. Доля органического вещества в донных отложениях менялась в интервале от 0.1% до 34.2%, она отрицательно коррелирует с глубиной реки ($r_s = -0.42$; $n = 84$; $p < 0.01$). В верхнем течении среднее содержание органических веществ составляло 6%, в среднем течении благодаря увеличению скорости течения снижалось до 4.4%. В нижнем течении отмечена аккумуляция органических осадков на дне, что проявляется в увеличении средней доли органических веществ до 14.5%. Подобное распределение органических наносов характерно для большинства равнинных рек.

В составе макрозообентоса р. Узгинки зарегистрировано 128 видов беспозвоночных, в том числе: 1 вид ракообразных, 2 вида паукообразных, 7 видов малощетинковых червей, 10 видов пиявок, 6 видов двустворчатых моллюсков, 14 видов брюхоногих моллюсков и 88 видов насекомых. Из насекомых по числу видов преобладали личинки Diptera (19 видов), Trichoptera (19 видов) и Heteroptera (9 видов). Таксономический состав макрозообентоса представлен типичными видами Палеарктики.

На каждой станции отмечали от 2 до 18 видов, в среднем на одну пробу приходилось 9 видов беспозвоночных. На станциях 4 и 11, расположенных ниже прудов, отмечено резкое увеличение числа видов, за счёт реофильных организмов (подёнки, веснянки, ручейники, жуки, двустворчатые моллюски).

Численность МЗБ менялась от 33 экз/м² до 12567 экз/м². Максимальная численность бентоса отмечалась на станции № 1 (истоки реки под подпором бобровой плотины), где массово развивались личинки комаров-звонцов (4200 экз/м²). Подобное влияние зарегулирования

стока на плотность макрозообентоса при строительстве плотин отмечено и на других малых реках Удмуртии (Нечкинка, Лоза, Нязь, Вотка, Сарапулка) (Холмогорова, 2014). Верхнее течение статистически значимо отличалось от среднего и нижнего по плотности бентоса ($n = 84$; $p < 0.05$). Минимальная плотность бентоса отмечалась в среднем течении на станциях 6 и 8. Это связано с высокой плотностью грунта (глинистые грунты), препятствующей жизнедеятельности МЗБ.

Доля личинок комаров-звонцов постепенно сокращалась от истоков к устью ($n = 84$; $p < 0.05$). Возможно, личинок комаров выедали рыбы и хищные личинки насекомых, численность которых возрастала с увеличением водности реки. Доля двустворчатых моллюсков возрастала на среднем участке реки ($n = 84$; $p < 0.05$) из-за увеличения скорости течения. На станциях 3 и 10, установленных на прудах, отмечена минимальная доля оксифильных личинок ручейников от 0 до 0.3% по численности.

Показатели индекса сапробности менялись от 1.30 до 3.04, однако средние показатели индекса на всех станциях соответствуют умеренно загрязнённым водам, исключение составляет станция № 5 (обустроенный родник в д. Порва), воды которой можно отнести к загрязнённым. Это обусловлено антропогенным фактором (в этом месте жители д. Порва стирают бельё, ковры и пр.).

Биотический индекс Вудивисса менялся от 2.3 до 7.0. Минимум наблюдался на станции № 10 (безымянный пруд), это связано с формированием пелофильных биоценозов и сокращением числа оксифильных организмов. Максимальный биотический индекс зафиксирован на станции № 12, расположенной ниже водопада, где сильное течение (0.52 м/с) и галечный грунт способствовал развитию литореофильного сообщества с большим числом ручейников и подёнок.

На основе олигохетного индекса Гуднайт-Уитлея все станции отнесены к очень чистым (I класс качества) (Мухин, Холмогорова, 2020).

ВЫВОДЫ

1. В составе макрозообентоса р. Узгинка зарегистрировано 128 видов живых организмов: 1 вид ракообразных, 2 вида паукообразных, 7 видов малощетинковых червей, 10 видов пиявок, 6 видов двустворчатых моллюсков, 14 видов брюхоногих моллюсков и 88 видов насекомых.
2. Результаты биоиндикации показывают, что две станции (1 и 3) соответствуют IV классу качества воды (Загрязнённые), девять станций (2, 4–6, 8–12) соответствуют III классу качества воды (Умеренно загрязнённые) и одна станция (7) соответствует II классу качества воды (Чистые).

3. Таким образом, воды р. Узгинка являются умеренно загрязнёнными, но некоторые участки испытывают сильное антропогенное воздействие из-за сброса сточных вод, поверхностного смыва загрязняющих веществ с жилых и промышленных территорий, автодорог и т.п., эрозионный смыв почв в воду, замусоривание, бесконтрольный отлов рыб, сельскохозяйственная деятельность на территории водосборного бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барулина Ю.А.* Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 51 с.
- Мухин И.А., Холмогорова Н.В.* Биоиндикация загрязнения р. Узгинка (Якшур-Бодьинский район Удмуртской республики) по организмам макрозообентоса // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы конференции по водной экотоксикологии. Ярославль: Филигрань, 2020. С. 132–133.
- Холмогорова Н.В.* Макрозообентос реки Нечкинка (Удмуртская Республика) // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции. Том II. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 388–390.
- Шитиков В.К.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. 281 с.

Распространение малого пещерного медведя (*U. ex gr. savini-rossicus*) на Урале

М.В. Павлова¹, Д.О. Гимранов², О.Г. Нанова³

¹ Уральский государственный педагогический университет,
Екатеринбург

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

³ Научно-исследовательский Зоологический музей МГУ
им. М. В. Ломоносова, Москва

Ключевые слова: малый пещерный медведь, распространение, Урал, поздний плейстоцен

На протяжении позднего плейстоцена типичными представителями мегафауны Северной Евразии являлись пещерные медведи (Musil, 1981; Kurten, 1976; Барышников, 2007). Вплоть до начала XXI в. было известно два вида пещерных медведей, обитавших в позднем плейстоцене (Rode, 1935; Erdbrink, 1953; Kurten, 1976; Rabeder, 1999). Согласно современным литературным источникам (Stiller et al., 2014; Knapp et al., 2019; Baryshnikov, Puzachenko, 2019, 2020) к группе больших пещерных медведей относятся такие виды как *U. spelaeus* Rosenmuller, 1794, *U. kudarensis* Baryshnikov, 1985 и *U. kanivetz* Vereschagin, 1973. На территории Западной Европы распространён *U. spelaeus*. *U. kudarensis* обитал на территории Кавказа, а *U. kanivetz* на территории Европы и Урала. Существовал также малый пещерный медведь (*U. savini* Andrews, 1922, *U. rossicus* Borissiak, 1930), который обитал в Европе, на Кавказе, на Урале и в Сибири (Борисяк, 1930, 1932; Spassov et al., 2017; Baryshnikov, Puzachenko, 2020; Barlow et al., 2021). На территории Западной Европы и Урала костные остатки пещерных медведей значительно превышают количество таковых в Азии. На восток от Уральских гор находки пещерных медведей достаточно редки (Барышников, 2007; Jiangzuo et al., 2018). Можно предположить, что Уральские горы были неким препятствием для распространения пещерных медведей на территорию Азии. Изучение представителей группы пещерных медведей может дать дополнительную информацию об экологии, распространении и причинах вымирания этих крупных наземных хищников.

Малый пещерный медведь впервые был описан Чарльзом Эндрусом из местонахождения Bacton Forest Bed в Англии в 1922 году (Andrews, 1992). В 1932 г. Борисяк описал малого пещерного медведя,

найденного на территории Северного Кавказа и выделил его как вид *U. spelaeus rossicus* (Борисяк, 1932). Найденные остатки малого пещерного медведя на Урале из пещеры Кизеловская, Н.К. Верещагин отнес к виду *U. uralensis* (Верещагин, 1973). Этому же медведя позднее стали относить к подвиду *U. rossicus* (Vereschagin, 2000). Г.Ф. Барышников (2007) выделяет несколько подвидов малого пещерного медведя: *U. savini savini* (Великобритания и Германия), *U. s. rossicus* (степная зона от Украины до Забайкалья) и *U. s. uralensis* (Средний Урал). В 2017 г. Н. Спассов в ходе исследования серийного краниологического материала из Болгарии разделил малых пещерных медведей на *U. savini* (включает *U. rossicus*) и *U. uralensis* (Spassov, 2017). Следовательно, определить таксономическую принадлежность малого пещерного медведя с Урала невозможно на данный момент. Находки нуждаются в ревизии на основе морфологического изучения ископаемых образцов и проведения новых молекулярно-генетических исследований. Поэтому в этой публикации мы рассматриваем остатки малого пещерного медведя, принадлежащие к группе *savini-rossicus* (*U. ex gr. savini-rossicus*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение костных остатков было проведено на основе палеозоологических коллекций музея ИЭРиЖ УрО РАН. Объектом исследования был выбран первый нижний маляр (m1) большого и малого пещерного медведя, как самый массовый среди всех зубов. Также зуб имеет характерные особенности строения, по которым возможно проводить видовую идентификацию. В ходе исследования было изучено 232 зуба из 17 местонахождений Урала. Некоторые зубы либо раньше не были изучены, либо нуждаются в проверке их принадлежности к тому или иному таксону. Костные остатки пещерных медведей, использованные в исследовании, датируются началом и серединой (морская изотопная стадия МИС 5е – МИС 3) позднего плейстоцена на основе радиоуглеродных дат и биостратиграфических данных.

В исследовании были использованы методы классической и геометрической морфометрии. В морфометрическом анализе использовали промеры наибольшей длины всего зуба и ширины талонида. Для анализа формы было определено 14 точек на окклюзионной поверхности зуба m1 (рисунок). Точки 1–7 маркировали форму коронки, а другие располагали на коронке зуба в зоне контакта главных и второстепенных бугров. Для анализа полученных данных были использованы двумерные графики и метод главных компонент.

В ходе исследования были сформированы две выборки зубов с ранее известной таксономической принадлежностью. Первая выборка

включала в себя зубы большого пещерного медведя *U. kanivetz* из пещерных местонахождений Победа, Игнатьевская, Тайн, Заповедная, Аша 1, Виашер и Геологов 3 (Смирнов и др., 1990; Kosintsev et al., 2016; Baryshnikov et al., 2019). Вторая выборка включала в себя малого пещерного медведя *U. ex gr. savini-rossicus* из местонахождений пещеры Иманай, Краснодара, Сибири, Waston Forest Bed и пещеры Кизеловская (Борисяк, 1932; Барышников, 2007; Gimranov, Kosintsev, 2020). По литературным данным известно, что размеры зубов большого пещерного медведя превосходят таковые малого пещерного медведя (Бо-

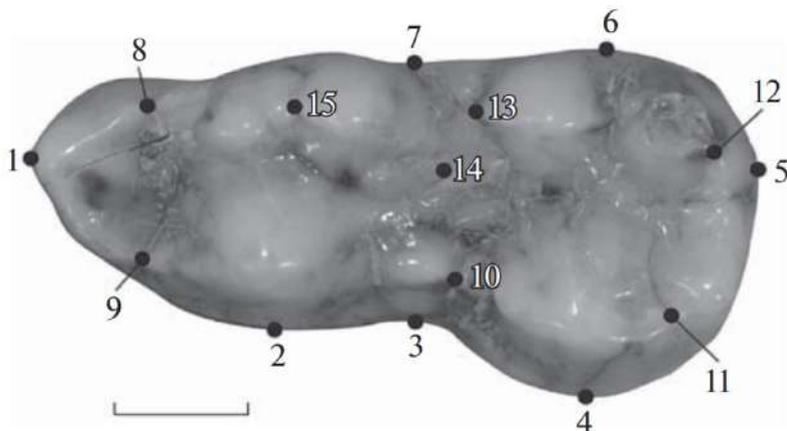


Рисунок. Расположение точек на окклюзальной поверхности m1 пещерных медведей. Масштаб 1 см.

рисьяк, 1930; Барышников, 2007; Spassov et al., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было подтверждено, что зубы большого и малого пещерных медведей хорошо разделены по размерам. Две выборки с уже известным таксономическим положением хорошо разделились по длине и ширине m1. Первую группу сформировали зубы большого пещерного медведя, с более крупными размерами, а зубы с меньшим размером относились к малому пещерному медведю. Зубы из 11 местонахождений, которые не были раньше определены или данные нуждались в перепроверке, попали в образовавшиеся группы.

Анализ формы m1 методом главных компонент не показал четкого разделения между видами. Следовательно, определение таксономической принадлежности пещерных медведей методом геометрической морфометрии по предложенной нами форме m1 значительно уступает их дифференциации по размерам зуба и может служить только вспомогательным методом.

В результате исследования размеров и формы m1, подтвержде-

но присутствие на Северном Урале как большого пещерного медведя (*U. kanivetz*) так и малого пещерного медведя (*U. ex gr. savini-rossicus*). Оба вида были обнаружены в отложениях пещеры Медвежья, которая находится на р. Печора. Костных остатков малого пещерного медведя в пещере Медвежья значительно меньше, чем большого пещерного медведя. Это местонахождение является самой северной точкой (62°05' с.ш., 58°05' в.д.) распространения обоих видов на Урале.

На Среднем Урале также подтверждено совместное обитание *U. kanivetz* и *U. ex gr. savini-rossicus*. Впервые установлено наличие костных остатков малого пещерного медведя в пещерах Виашер, Динамитная, Чудесница и Черные кости. Расположены данные местонахождения в бассейне р. Яйва. Также подтверждено наличие малого пещерного медведя (*U. ex gr. savini-rossicus*) в фаунах пещер Махневская ледяная (Fadееva et al., 2020) и Кизеловская (Vereschagin, Baryshnikov, 2000). Пещеры Махневская ледяная и Кизеловская также расположены в бассейне р. Яйва.

Также нами подтверждено, что на территории Южного Урала присутствовали оба вида пещерных медведей (*U. kanivetz* и *U. ex gr. savini-rossicus*). Ранее совместное обитание двух обсуждаемых видов на Южном Урале уже отмечалось (Смирнов и др., 1990). Впервые установлено, что в пещере Куаламанская обитал большой пещерный медведь (*U. kanivetz*). Пещера Куаламатская расположена в бассейне р. Белой, в её горном течении. Подтверждено обитание малого пещерного медведя (*U. ex gr. savini-rossicus*) в пещерах Игнатьевская, Барсучий Дол и Аша 1, которые расположены в бассейне р. Сим.

ВЫВОДЫ

В результате исследования зубов пещерных медведей впервые установлено, что малый пещерный медведь (*U. ex gr. savini-rossicus*) присутствует в фауне пещер Сказка, Виашер, Динамитная, Чудесница и Черные кости. Подтверждено, что *U. kanivetz* и *U. ex gr. savini-rossicus* обитали на Северном, Среднем и Южном Урале, Северная граница ареала этих видов доходила до 52° с.ш. В ряде местонахождений их остатки найдены в составе одних фаун, что указывает на перекрывание их ареалов на Урале. Время совместного обитания большого и малого пещерных медведей составляет от начала (микулинское, казанцевское межледниковье, МИС 5е) до середины (середина брянского, каргинского интерстадиалов; середина МИС 3) позднего плейстоцена.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-00041) и частичной под-

держке РФФИ № 19-04-00111-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барышников Г.Ф.* Семейство медвежьих (Carnivora, Ursidae). СПб.: Наука, 2007. 542 с.
- Борисяк А.А.* *Ursus spelaeus rossicus* nov. n. // Доклады АН СССР. 1930. Т. 8. С. 102–104.
- Борисяк А.А.* Новая раса пещерного медведя из четвертичных отложений Сев. Кавказа // Труды палеозоологического института. 1932. Т. 1. С. 137–201.
- Верещагин Н.К.* Краниологическая характеристика современных и ископаемых медведей // Зоологический журнал. 1973. Т. 52. № 6. С. 920–930.
- Смирнов Н.Г., Большаков В.Н., Косинцев П.А.* и др. Историческая экология животных гор Южного Урала. Свердловск: УрО АН СССР. 1990. 245 с.
- Andrews C.W.* Note on a bear (*Ursus savini* sp. n.) from the Cromer Forest-bed // Journal of Natural History. 1922. Vol. 9. № 50. P. 204–207.
- Barlow A., Paijmans J., Alberti F.* Middle Pleistocene genome calibrates a revised evolutionary history of extinct cave bears // Current Biology. 2021. Vol. 31. № 8. P. 1771–1779.
- Baryshnikov G.F., Puzachenko A.Y.* Morphometry of upper cheek teeth of cave bears (Carnivora, Ursidae) // Boreas. 2019. Vol. 48. P. 581–604.
- Baryshnikov G.F., Puzachenko A.Y.* Morphometry of lower cheek teeth of cave bears (Carnivora, Ursidae) and general remarks on the dentition variability // Boreas. 2020. Vol. 49. № 3. P. 562–593.
- Baryshnikov G., Gimranov D., Kosintsev P.* Variability of the upper incisors in the cave bears (Carnivora, Ursidae) from the Caucasus and Urals // Comptes Rendus Palevol. 2019. Vol. 18. № 2. P. 209–222.
- Erdbrink D.P.* A review of fossil and recent bears of the Old World, with remarks on their phylogeny based upon their dentition. Deventer: Drukkerij Jan de Lange, 1953. 59 pp.
- Fadeeva T., Kosintsev P., Lapteva E.* et al. Makhnevskaya Ledyanaya Cave (Middle Urals, Russia): Biostratigraphical reconstruction // Quaternary International. 2020. Vol. 546. P. 135–151.
- Gimranov D.O., Kosintsev P.A.* Quaternary large mammals from the Imanay Cave // Quaternary International. 2020. Vol. 546. P. 125–134.
- Jiangzuo Q., Wagner J., Chen J.* et al. Presence of the Middle Pleistocene cave bears in China confirmed – Evidence from Zhoukoudian area // Quaternary Science Reviews. 2018. P. 1–17.
- Knapp M.* From a molecules' perspective – contributions of ancient DNA research to understanding cave bear biology // Historical biology.

2019. Vol. 31. № 4. P. 442–447.

Kosintsev P.A., Gasilin V.V., Gimranov D.O., Bachura O.P. Carnivores of the Ural in the late pleistocene and holocene // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 145–155.

Kurten B. The cave bear story. Life and death of a vanished animal. New York: Columbia University Press. 1976. 163 pp.

Musil R. *Ursus spelaeus* – Der Höhlenbär // III. Weimarer Monographien zur Ur- und Frühgeschichte. 1981. P. 1–112.

Rabeder G. Die Evolution des Höhlenbärengebisses // Mitt. Kom. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. 1999. B. 11. P. 1–102.

Rode K. Das Gebiß der Bären. Ein Vorbericht // Zentralbl. Miner. Geol. Paläontol. Abt. B. Stuttgart. 1934. № 11. P. 494–501.

Spassov N., Hristova L., Ivanova S., Georgiev I. First record of the “small cave bear” in Bulgaria and the taxonomic status of bears of the *Ursus savini* ANDREWS – *Ursus rossicus* BORISSIAK group // *Fossil Imprint*. 2017. Vol. 73. № 3/4. P. 275–291.

Stiller M., Molak M., Prost S. et al. Mitochondrial DNA diversity and evolution of the Pleistocene cave bear complex // *Quaternary International*. 2014. Vol. 339–340. P. 224–231.

Vereschagin N., Baryshnikov G. Small cave bear *Ursus (Spelearctos) rossicus uralensis* from the Kizel Cave in the Ural (Russia) // *Geoloski zbornik*. 2000. № 15. P. 53–66.

Генетическая структура представителей родов *Alnus* и *Ulmus* в крымско-кавказском регионе

К.А. Паниковская, С.А. Семерикова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: популяционно-генетическая структура, ядерные микросателлитные локусы, хлоропластная ДНК, филогеография, широколиственные породы

Проведен анализ генетической изменчивости широколиственных видов деревьев в восточной части ареала: на Северном Кавказе, в Крыму, в северо-восточных районах (Русская равнина, Урал), с целью исследования филогеографической структуры, проверки гипотезы о восточных рефугиумах, выяснения генетических связей между географическими регионами и близкородственными видами.

Изучено 25 популяционных выборок ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaeth.) и 30 выборок вяза шершавого (*Ulmus glabra* Huds.). Также исследовались популяции близкородственных видов: 9 выборки ольхи серой (*A. incana* (L.) Moench.) и 13 популяций вяза малого (*U. minor* Mill.).

В работе использовались матерински наследуемые маркеры хлоропластной ДНК (хпДНК) и бипарентально наследуемые ядерные микросателлитные локусы (nSSR). У видов рода *Alnus* исследована изменчивость трёх хпДНК фрагментов (*ndhF-rpl23*, *rps16-trnK*, *psbJ-petA*) (Shaw et al., 2007) и восьми хлоропластных микросателлитных локусов (cpSSR). Проведен анализ изменчивости 19 nSSR локусов (для *A. glutinosa*) и 14 локусов (для *A. incana*), ранее применявшихся для исследования ольхи в Европе (Navrdova et al., 2015; Mandak et al., 2016). У видов рода *Ulmus* впервые была исследована изменчивость двух хпДНК фрагментов (*trnD-trnT*, *trnK2-trnK4*) (Demesure et al., 1995). Для генотипирования применяли сочетания методик секвенирования и анализа cpSSR для ольхи, секвенирования и рестриктоного анализа для вязов. Показатели разнообразия и дифференциации популяций вычисляли в программе Arlequin ver 3.5. Анализ филогенетического взаимоотношения гаплотипов осуществляли с помощью байесовского подхода, метода максимальной экономии. Для обработки данных изменчивости nSSR локусов у ольхи использовали программы GenAlEx 6 и STRUCTURE.

Для всех исследуемых видов показано значительное отличие крымско-кавказского региона от северо-восточной части основного ареала. Практически полное отсутствие общих хлоропластных гаплотипов между двумя регионами свидетельствует о крайне ограниченном генетическом потоке и исторической изоляции этих частей ареала. Согласно данным изменчивости ядерных маркеров, подвид *A. g. ssp. barbata*, характерный для Кавказа, отделился от *A. g. ssp. glutinosa* основного ареала. Одновременно наблюдали значительная дифференциация популяций *A. incana* основного ареала и Кавказа.

Кавказские популяции обладали наибольшей хпДНК изменчивостью как у ольхи, так и у вяза, что свидетельствует о длительном существовании видов в кавказском регионе. Гаплотипы Кавказа у *Alnus* относились к линии гаплотипов ольхи Балканского полуострова (Havrdova et al., 2015; Mandak et al., 2016), а у видов *Ulmus* были родственны гаплотипам восточноазиатских вязов. Для исследуемых видов наблюдали географическое разделение хлоропластных гаплотипов на Северном Кавказе в направлении с запада на восток.

Показана уникальность популяций Крыма: здесь у видов отмечено по одному гаплотипу, которые не найдены за пределами полуострова, что может быть связано с прохождением популяций через «бутылочное горлышко». У вяза обнаружен эндемичный гаплотип. Крымский cpSSR гаплотип ольхи был близкородственным гаплотипам Кавказа, при этом анализ ядерных nSSR маркеров показал генетически промежуточное положение крымских популяций между Кавказом и Восточной Европой, что свидетельствует о гибридном происхождении ольхи черной в Крыму.

Несмотря на значительную географическую дифференциацию, внутри регионов родственные виды не отличались по гаплотипам хпДНК, что указывает на длительный исторический генетический поток между близкими видами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госзадания ИЭРиЖ УрО РАН, при поддержке РФФИ, грант № 18-04-01061а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Demesure B., Sodji N., Petit R.J.* A Set of Universal Primers for Amplification of Polymorphic Noncoding Regions of Mitochondrial and Chloroplast DNA in Plants // *Molecular Ecology*. 1995. Vol. 4. № 1. P. 129–131.
- Havrdova A., Douda J., Krak K.* et al. Higher genetic diversity in recolonized areas than in refugia of *Alnus glutinosa* triggered by continent-

wide lineage admixture // *Molecular Ecology*. 2015. Vol. 24. № 18. P. 4759–4777.

Mandak B., Havrdova A., Krak K. et al. Recent similarity in distribution ranges does not mean a similar postglacial history: a phylogeographical study of the boreal tree species *Alnus incana* based on microsatellite and chloroplast DNA variation // *New Phytologist*. 2016. Vol. 210. № 4. P. 1395–1407.

Shaw J., Lickey E.B., Schilling E.E., Small R.L. Comparison of whole chloroplast genome sequences to choose noncoding regions for phylogenetic studies in angiosperms: The tortoise and the hare III // *American Journal of Botany*. 2007. Vol. 94. № 3. P. 275–288.

Конструирование видоспецифичных праймеров для амплификации гена цитохрома *b* мтДНК мыши-малютки (*Micromys minutus* Pallas, 1771)

Д.С. Пилевич, М.А. Крохалева

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: митохондриальный геном, мышшь-малютка, праймеры, ПЦР, цитохром *b*

Мышь-малютка (*M. minutus*) – палеарктический вид, который имеет обширный ареал: от северной Испании и Великобритании до территорий Китая и Вьетнама, Японии и Тайваня. Широкое распространение и экологические особенности вида обуславливают интерес к анализу внутривидового генетического разнообразия и филогенетических связей между популяциями *M. minutus*, в том числе, с точки зрения реконструкции истории формирования современного биоразнообразия Палеарктики (Yasuda et al., 2005).

На основе анализа митохондриального генома была показана дифференциация вида на четыре крупные клады и рассмотрена история формирования современной генетической структуры *M. minutus* (Yasuda et al., 2005). Тем не менее, до сих пор неизученной остается значительная часть видового ареала (от юго-востока Западной Сибири до Восточной Европы), т.е. анализ был проведен без учёта вклада в генетическую дифференциацию и эволюционную историю вида популяций из ряда крупных регионов центральной части Северной Евразии.

Ревизия коллекций ИЭРиЖ УрО РАН и УрФУ показала, что в них имеются образцы мыши-малютки из ранее неизученных территорий, представленные краниологическим материалом и шкурками. Хотя спектрофотометрический анализ показал наличие ДНК при выделении из данных образцов, попытки ПЦР с использованием универсальных праймеров L7, H2, L8, H6 (Tougaard et al., 2008), амплифицирующих фрагменты *cyt b* длиной около 700–800 п.н. (пар нуклеотидов), не дали результатов. В этой связи, **целью** нашей работы была разработка видоспецифичных праймеров для амплификации фрагментов длиной 170–326 п.н., позволяющих собрать полную последовательность *cyt b* из образцов *M. minutus* с неудовлетворительной сохранностью ДНК, а также подбор условий ПЦР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Тотальная ДНК была выделена методом водно-солевой экстракции (Aljanabi, Martinez, 1997) из образцов костной ткани, представленных в музейных коллекциях ИЭРиЖ УрО РАН и УрФУ.

Видоспецифичные праймеры были сконструированы на основе анализа полных последовательностей *cyt b M. minutus* (1140 п.н.), представленных в базе GenBank (Suzuki, Tsuchiya, Takezaki, 2000; Yasuda et al., 2005; Abramov et al., 2009; Jing et al., 2015), с помощью программ Pairwise – BLAST (National Center for Biotechnology Information) и Mega 5.10 (Tamura et al., 2013) с учётом наиболее консервативных участков, обеспечивающих наименьшую вырожденность праймеров.

Оптимизацию единой для всех пар праймеров температуры отжига проводили в диапазоне температур от 57 до 60 °С. Для подбора температурно-временного профиля проводили градиентная ПЦР с использованием образца ДНК *M. minutus*, для которого ранее была проведена амплификация с использованием двух пар стандартных праймеров с последующим успешным секвенированием ПЦР-продукта.

Детекцию ПЦР-продуктов проводили методом электрофореза в 1%-ном агарозном геле с последующим секвенированием на генетическом анализаторе «Нанофор-05» (Синтол, Россия) в центре коллективного пользования Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург. Полученные последовательности редактировали с помощью программы BioEdit (Hall, 1999).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе анализа 79 полных последовательностей *cyt b M. minutus*, представленных в базе GenBank, были разработаны 13 видоспецифичных праймеров (шесть пар и обратный праймер к универсальному L7) (табл. 1).

На электрофореграмме амплифицированных в ходе градиентной ПЦР контрольных образцов повышенный синтез специфического ампликона наблюдали при температуре 60 °С (рис.). Таким образом, данная температура является оптимальной для всех разработанных праймеров и использованной реакционной смеси.

Таким образом, для разработанных праймеров был подобран температурно-временной профиль ПЦР (табл. 2).

С использованием разработанных видоспецифичных праймеров для шести музейных образцов (костный материал) проведена ПЦР. Детекция ПЦР-продуктов показала положительный результат для всех новых пар праймеров, разработанных для *M. minutus*. В результате последующего секвенирования и редактирования последовательностей получены фрагменты *cyt b* длиной от 170 до 320 п.н. Области пере-

крывания данных фрагментов были достаточными для сборки полных последовательностей гена *cyt b* *M. minutus* (1140 п.н.).

Таблица 1. Характеристики семи пар видоспецифичных праймеров *M. minutus*, разработанных для амплификации *cyt b*

Название	5'-3' последовательность	bp	Длина продукта
L7	TGACCAATGACATGAAAAATCATCG	25	253
MM1-r	GTGAGTAACTGATGAGAATGCTG	23	
MM2-f	TCAGACACTATAACAGCATTCTCATC	24	170
MM2-r	CATGTTTCTAGGAAGGCATAAGATCC	20	
MM3-f	ACGTAGGACGGGAATCTACTA	22	287
MM3-r	TAGGGCTGCGATGATGAAGG	20	
MM4-f	CCATGAGGACAAATATCCTTCTGAGG	26	266
MM4-r	GGGTGGAATGGGATTTTATCTGC	23	
MM5-f	TCATCATCGCAGCCCTAGCA	20	326
MM5-r	GATTAGGGCAATGACTCCTCCTAG	24	
MM6-f	CCTCCCCACATTAACCAGAATGATA	26	253
MM6-r	GATAAAGGGGTGTTCTACTGGTTG	24	
MM7-f	ATCCGCCCAATCTCCCAAC	21	246
MM7-r	TCTTCGTTTCTGGTTTACAAGACC	24	

Примечание. bp – длина праймеров в нуклеотидах.

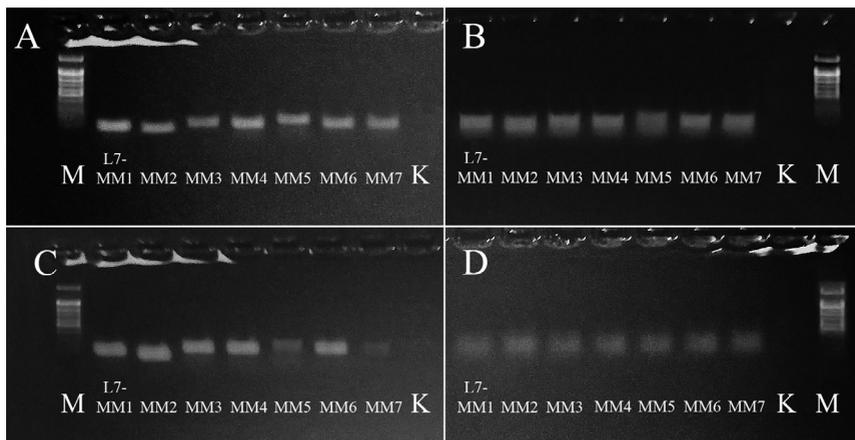


Рисунок. Электрофореграмма амплификации фрагментов *cyt b* мышцы-малютки при разных температурах отжига праймеров: А – 60 °С, В – 59 °С, С – 58 °С; D – 57 °С; обозначения амплифицированных фрагментов соответствуют названиям использованных пар праймеров; М – ДНК-маркер 100 bp + 1.5 Kb SibEnzyme; К – отрицательный контроль.

Таблица 2. Состав и температурно-временной профиль ПЦР с использованием семи пар видоспецифичных праймеров *M. minutus*, разработанных для амплификации *cyt b*

Компоненты реакционной смеси	Объём, мкл	Температурный протокол		
		Температура	Время	Примечание
H ₂ O	7.75	95 °C: 3 мин	Начальная денатурация	X1
dNTP's 2.5 mM each	2.50			
AS Buffer 10x	2.50	95 °C: 15 сек	Денатурация	X44
MgCl ₂ 50mM	1.25			
Primer + 2pM	3.75	60 °C: 20 сек	Отжиг праймеров	X44
Primer - 2pM	3.75			
Taq 5U/mkL	1.00	72 °C: 50 сек	Полимеризация	
DNA 50 ng/mkl	2.50	72 °C: 10 мин	Окончательная полимеризация	X1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы для мыши-малютки разработаны видоспецифичные праймеры, использование которых позволяет получать полные последовательности гена *cyt b* из музейных образцов, для которых проведение ПЦР с универсальными праймерами не давало результатов.

Таким образом, получена возможность вовлечения в анализ генетического разнообразия вида музейных образцов *M. minutus* из ранее неисследованных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abramov A.V., Meschersky I.G., Rozhnov V.V.* On the taxonomic status of the harvest mouse *Micromys minutus* (Rodentia: Muridae) from Vietnam // *Zootaxa*. 2009. Vol. 2199. № 1. P. 58–68.
- Aljanabi S.M., Martinez I.* Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques // *Nucleic Acids Research*. 1997. Vol. 25. № 22. P. 4692–4693.
- Hall T.A.* Bio-Edit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // *Nucleic Acids Symp. Series*. 1999. Vol. 41. P. 95–98.
- Jing J., Song X., Yan C. et al.* Phylogenetic analyses of the harvest mouse, *Micromys minutus* (Rodentia: Muridae) based on the complete mitogenome sequences // *Biochemical Systematics and Ecology*. 2015. Vol. 62. P. 121–127.
- Suzuki H., Tsuchiya K., Takezaki N.* A molecular phylogenetic framework for the Ryukyu endemic rodents *Tokudaia osimensis* and *Diplothrix legata* // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2000. Vol. 15. № 1. P. 15–24.

- Tamura K., Peterson D., Peterson N.* et al. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. // *Molecular Biology and Evolution*. 2013. Vol. 30. № 12. P. 2725–2729.
- Tougaard C., Brunet-Lecomte P., Fabre M., Montuire S.* Evolutionary history of two allopatric *Terricola* species (Arvicolinae, Rodentia) from molecular, morphological, and palaeontological data // *Biological Journal of the Linnean Society*. 2008. Vol. 93. P. 309–323.
- Yasuda S. P., Vogel P., Tsuchiya K.* et al. Phylogeographic patterning of mtDNA in the widely distributed harvest mouse (*Micromys minutus*) suggests dramatic cycles of range contraction and expansion during the mid-to late Pleistocene // *Canadian Journal of Zoology*. 2005. Vol. 83. № 11. P. 1411–1420.

Водные вытяжки из листьев инвазивного *Acer negundo* не подавляют прорастание семян больше, чем вытяжки из листьев местных видов

О.С. Рафикова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: аллелопатия, ингибирование прорастания семян, механизмы инвазивности, инвазивные растения

Аллелопатию и близкие экологические феномены, такие как почво-утомление и plant-soil feedback, активно исследуют как предполагаемые механизмы успеха чужеродных (инвазивных) растений во вторичных ареалах (Klironomos, 2002; Callaway, Ridenour, 2004; Anacker et al., 2014; Brouwer et al., 2015).

Изучение аллелопатии проводят разными методами – в лабораторных биотестах, в том числе, в чашках Петри, в тепличных вегетационных и полевых экспериментах (Sharma et al., 2000; Tseng et al., 2003; Nasir et al., 2005; Dorning, Cipollini, 2006; Zhang, Fu, 2010; Chen et al., 2013; Fang et al., 2019; Lu et al., 2020). Ученые много раз обсуждали методические трудности таких биотестов (Dakshini, 1995; Weston, 2000; John et al., 2006). Возможно, что часть лабораторных биотестов не характеризуют взаимодействия в природе из-за несоответствия лабораторных условий естественным и отсутствия стандартизированных методов или критических контролей (John et al., 2006).

С несовершенством экспериментальных методик частично связана неясность реальности аллелопатии как механизма экологического успеха того или иного растения. Например, инвазивный в Евразии *Acer negundo* L. – вид-трансформер, который может преобразовывать аборигенные экосистемы (Виноградова и др., 2010). В отношении аллелопатической активности *A. negundo* получены результаты широкого спектра: есть подтверждения ингибирующей прорастание аллелопатической активности (Csiszár, 2009; Ерёмченко, 2012; Csiszár et al., 2013; Александров, Калашников, 2019); есть описания неясных эффектов или их отсутствия (Панасенко и др., 2018; Веселкин и др., 2019); есть случаи стимуляции прорастания семян тест-объектов веществами *A. negundo* (Цандекова, 2019). При этом часть результатов получена с использованием в качестве контроля только воды (Ерёмченко, 2012;

Александров, Калашников, 2019) без сравнений с местными видами (Панасенко и др., 2018). Таким образом, известно несколько исследований аллелопатической активности *A. negundo*. Но их результаты, во-первых, противоречивы, а, во-вторых, эти исследования не всегда методически безупречны. Поэтому выяснение механизмов экологического успеха *A. negundo* – актуальная задача. Для надежного суждения об аллелопатических эффектах *A. negundo* необходимо накопление методически строгих результатов экспериментов разного дизайна.

Цель работы: оценить влияние водных вытяжек из летних (зеленых) и осенних (расцветченных) листьев *A. negundo* на прорастание семян разных видов травянистых растений в экспериментах с чашками Петри.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в г. Екатеринбург (56°50' с. ш. 60°35' в. д.). Для приготовления экстрактов листья донорных растений собирали на территории крупного внутригородского Центрального парка культуры и отдыха им. Маяковского (56°48' с.ш. 60°38' в.д.). Растительность парка формируют сосновые леса, с небольшой примесью *Betula* spp., *Populus tremula* L., *Tilia* sp.

Растения-доноры. Изучали аллелопатическую активность одного инвазивного вида – *A. negundo* и трёх местных – *Sorbus aucuparia* L., *Prunus padus* L. и *Salix caprea* L. Все четыре вида – обычные виды подлеска урбанизированных лесов в районе г. Екатеринбург (Веселкин и др., 2018). *A. negundo* – дерево семейства Sapindaceae. Североамериканский вид, инвазивный на большей части своего интродуцированного ареала. *S. aucuparia* – кустарник или дерево семейства Rosaceae. *P. padus* – кустарник, редко дерево семейства Rosaceae. *S. caprea* L. – дерево семейства Salicaceae.

Растения-реципиенты. *Festuca rubra* L. – травянистое многолетнее растение семейства Poaceae. *Sinapis alba* L. – травянистое однолетнее растение семейства Brassicaceae. *Trifolium repens* L. – травянистый многолетник семейства Fabaceae.

Сбор листьев и приготовление водных вытяжек. Свежие листья не менее чем с пяти особей каждого донорного вида собирали на высоте 1.5–3.0 м. Листья не измельчали, максимально сохраняя их целостность. Вытяжки готовили, смешивая листья с дистиллированной водой в соотношении 1:10 по массе (John et al., 2006). Вытяжки настаивали 24 часа в темном месте при комнатной температуре, затем фильтровали через фильтровальную бумагу. Колбы с готовыми вытяжками хранили в холодильнике при +4 °С. Каждые 7 суток готовили свежие вытяжки.

Проращивание семян. Семена растений-реципиентов приобретались коммерчески (*F. rubra* – Россия, ООО «Зеленый Ковер», соответствуют ГОСТ Р 52325-2005, произведены 01.2020 г. *S. alba* – Россия, ООО «Лама Торф», произведены 12.09.2020, *T. repens* – Россия, ООО «Зеленый Ковер», соответствуют ГОСТ Р 52325-2005, произведены 06.2020 г.). До момента прорастания семена хранились в тёмном месте при комнатной температуре.

Семена поверхностно стерилизовали 0.1%-м раствором NaOCl 2 мин, затем промывали дистиллированной водой. В каждую чашку на 2 слоя фильтровальной бумаги помещали по 50 семян *F. rubra*, *S. alba* или *T. repens*, которые увлажняли соответствующим экстрактом или водой. Учёт всхожести проводили в течение 14 суток.

Общая схема эксперимента. Всего было пять вариантов вытяжки: один инвазивный вид дерева, три местных вида древесных, дистиллированная вода – отрицательный контроль. Всего было три вида растений-реципиентов. Каждое сочетание «вытяжка × растение-реципиент» воспроизвели в трёх повторностях. Всего было 45 чашек Петри, которые экспонировались одновременно на одном столе. В горизонтальном пространстве чашки размещали рандомизировано и ежедневно перемешивали. По этой схеме последовательно провели два эксперимента. Первый эксперимент был 06.08.2020–21.08.2020 с летними (зелеными) листьями деревьев; второй – 11.09.2020–25.09.2020 с осенними (расцвеченными) листьями деревьев.

Статистический анализ. Скорость прорастания семян оценивали, используя логистическую кривую вида (формула 1):

$$y = \frac{A - a_0}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} + a_0, \quad (1)$$

, где y – оценка доли проросших семян; x – оценка времени после начала проращивания; α и β – коэффициенты, которые находили методом численных итераций; a_0 – минимальная всхожесть, которую для всех чашек Петри приняли за ноль; A – максимальная всхожесть, т.е. максимальная зарегистрированная за 14 суток доля проросших семян. Логистическую аппроксимацию строили для каждой из 45 чашек Петри в каждом эксперименте, как показано на рис. 1. Затем после нахождения коэффициентов α и β , аналитически находили нижнюю ($x_{10\%}$), среднюю ($x_{50\%}$) и верхнюю ($x_{90\%}$) критические точки, которые определяют время прорастания, соответственно 10, 50 и 90% семян.

Координаты этих точек ($x_{10\%}$, $x_{50\%}$, $x_{90\%}$, x_{max} , y_{max}) в дальнейшем анализировали с помощью двухфакторного и трёхфакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Однородность дисперсий контролировали с помощью критерия Левена, а попарные различия между вариантами

оценивали с помощью критерия Тьюки. Статистический анализ проводили с помощью программы STATISTICA 8.0 (StatSoft, USA).

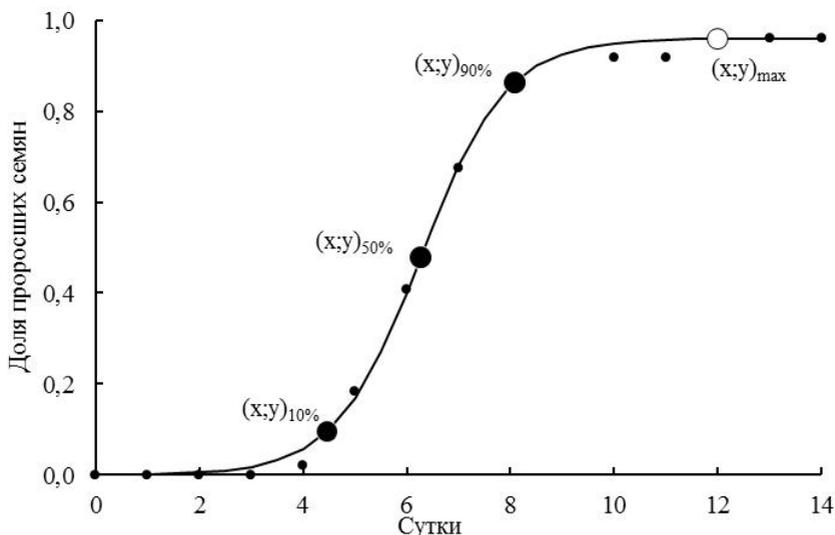


Рисунок 1. Всхожесть семян *F. rubra* в случайной чашке Петри на дистиллированной воде в эксперименте с зелеными листьями; $x_{y_{10\%}}$, $x_{y_{50\%}}$ и $x_{y_{90\%}}$ – нижняя, средняя и верхняя критические точки; $x_{y_{max}}$ – точка достижения максимума доли проросших семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проращение семян растений-реципиентов. Видовые особенности скорости и скорости проращения семян растений-реципиентов были хорошо выражены, о чем свидетельствует большая значимость влияния фактора «растения-реципиенты» на все параметры проращения семян (табл. 1). Средняя во всех вариантах максимальная всхожесть (параметр y_{max}) у *S. alba* была 0.95 ± 0.01 , у *F. rubra* – 0.87 ± 0.02 , у *T. repens* – 0.74 ± 0.01 . При этом семена растений-реципиентов также прорастали с разной скоростью. Быстрее всего прорастали семена *S. alba* ($x_{50\%} = 2.2 \pm 0.2$ сут; $x_{max} = 7.0 \pm 0.5$), медленнее – *T. repens* ($x_{50\%} = 4.1 \pm 0.2$ сут; $x_{max} = 9.9 \pm 0.6$ сут), ещё медленнее – *F. rubra* ($x_{50\%} = 5.9 \pm 0.1$ сут; $x_{max} = 13.1 \pm 0.6$). Таким образом, самое активное и быстрое проращение было у *S. alba*, а самое медленное – у *F. rubra* (рис. 2, 3).

Сезонные особенности проращения. Особенности проращения семян летом или осенью не выражены в отношении абсолютной всхожести, но хорошо заметны в отношении скорости проращения. Летом семена прорастали несколько быстрее (общее среднее значение для всех вариантов $x_{50\%} = 3.2 \pm 0.3$ сут; $x_{max} = 8.5 \pm 0.6$ сут), чем осенью ($x_{50\%} = 4.9 \pm 0.2$ сут; $x_{max} = 11.5 \pm 0.4$ сут). Это может быть связано

с благоприятным периодом для прорастания семян, который заканчивается осенью.

Несмотря на значимое взаимодействие факторов «растения-реципиенты» × «сезон» (таблица), различия между видами растений-реципиентов по скорости прорастания летом и осенью были одинаковыми: *S. alba* в обоих случаях проросла быстро, *T. repens* – медленнее, *F. rubra* – ещё медленнее (рис. 2, 3). Таким образом, осенью прорастание семян растений-реципиентов происходило медленнее, но в целом, несмотря на 1.5–4-суточую задержку, не менее успешно, чем летом.

Таблица. Значимость влияния факторов «растения-реципиенты», «сезон» и «вариант вытяжки» в 3-факторном ANOVA.

Параметр	Факторы			Взаимодействия факторов			
	Растения-реципиенты (dF = 2)	Сезон (dF = 1)	Вариант вытяжки (dF = 4)	Растения-реципиенты × Сезон (dF = 2)	Растения-реципиенты × Вариант вытяжки (dF = 8)	Сезон × Вариант вытяжки (dF = 4)	Растения-реципиенты × Сезон × Вариант вытяжки (dF = 8)
Максимальная всхожесть (y_{\max})	<0.01	0.04	0.06	0.07	0.88	0.84	0.30
Сутки прорастания:							
максимального числа семян (x_{\max})	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.43	0.24	0.82
10% семян ($x_{10\%}$)	<0.01	<0.01	0.03	0.03	0.04	0.28	0.29
50% семян ($x_{50\%}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.19	<0.01
90% семян ($x_{90\%}$)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.60	0.83	0.02

Вытяжки из разных растений-доноров. Средняя максимальная всхожесть не различалась в зависимости от варианта опыта: вода – 0.87 ± 0.02 ; *S. caprea* – 0.85 ± 0.03 ; *P. padus* – 0.87 ± 0.02 ; *S. aucuparia* – 0.83 ± 0.02 ; *A. negundo* – 0.86 ± 0.02 . Однако скорость прорастания зависела от вида растений-доноров, из листьев которого делали вытяжку.

По параметрам $x_{50\%}$, $x_{90\%}$ и x_{\max} заметно замедление прорастания семян на вытяжках некоторых растений-доноров. Средние значения параметра $x_{50\%}$ составили: вода – 3.6 ± 0.4 суток; *S. caprea* – 4.0 ± 0.5 суток; *P. padus* – 3.8 ± 0.4 суток; *S. aucuparia* – 4.8 ± 0.5 суток; *A. negundo* – 4.0 ± 0.4 суток. По критерию Тьюки значимые различия были между вариантами «*S. aucuparia*» и всем остальными вариантами ($P < 0.01$),

а также между вариантами «вода» и «*A. negundo*» ($P < 0.01$); между вариантами «вода» и «*S. caprea*» ($P < 0.01$).

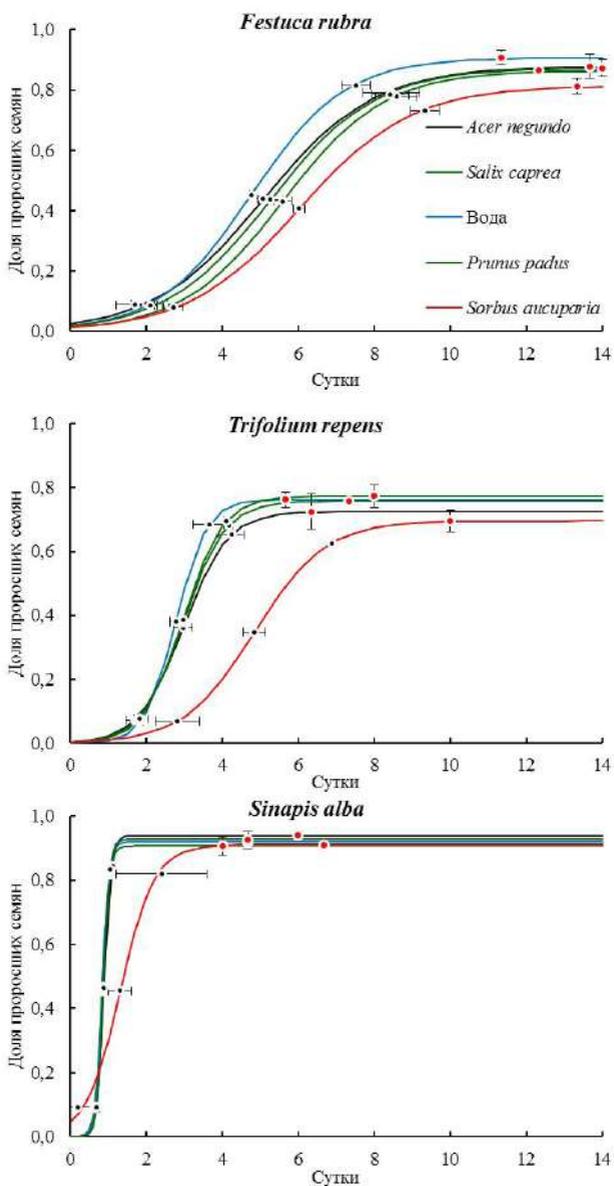


Рисунок 2. Всхожесть семян растений-реципиентов при проращивании на вытяжках из летних листьев. Черные точки – нижние, средние и верхние критические точки; красные точки – точки достижения максимума функции; интервалы – ошибка среднего (SE).

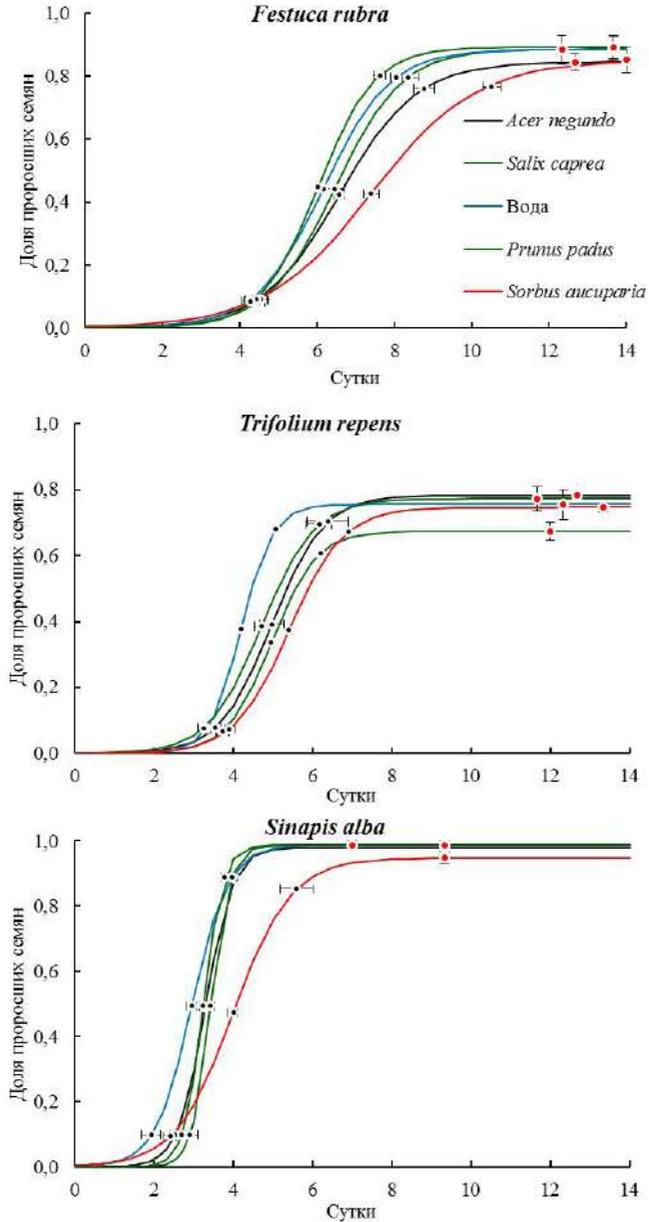


Рисунок 3. Всхожесть семян растений-реципиентов при проращивании на вытяжках из осенних листьев. Черные точки – нижние, средние и верхние критические точки; красные точки – точки достижения максимума функции; интервалы – ошибка среднего (SE).

Средние значения параметра $x_{90\%}$ составили: вода – 4.9 ± 0.6 суток; *S. caprea* – 5.4 ± 0.6 суток; *P. padus* – 5.2 ± 0.6 суток; *S. aucuparia* – 6.9 ± 0.7 суток; *A. negundo* – 5.5 ± 0.7 суток. По критерию Тьюки значимые различия были между вариантами «*S. aucuparia*» и всеми остальными вариантами ($P < 0.0001$); между вариантами «вода» и «*A. negundo*» ($P < 0.01$); между вариантами «вода» и *S. caprea* ($P = 0.02$). Значения параметра x_{max} составили: вода – 9.3 ± 0.8 суток; *S. caprea* – 9.8 ± 0.8 суток; *P. padus* – 9.8 ± 1.0 суток; *S. aucuparia* – 11.1 ± 0.4 суток; *A. negundo* – 10.1 ± 0.8 суток. По парному критерию Тьюки значимые различия были только между вариантами «вода» и «*S. aucuparia*» ($P = 0.02$). Таким образом, по параметру x_{max} быстрее всего прорастали семена на воде и медленнее всего – на вытяжках из *S. aucuparia*.

В оба сезона наблюдался выраженный ингибирующий эффект вытяжек из листьев местного кустарника *S. aucuparia* (рис. 2). Такое ингибирование прорастания было хорошо заметно при сравнении эффектов от вытяжек из *S. aucuparia* с дистиллированной водой. Таким образом, водные вытяжки из листьев *S. aucuparia* обладают, вероятно, аллелопатической активностью, хотя и невысокой, приводящей только к замедлению прорастания трав, но не к уменьшению общей доли проросших семян.

Установлено только слабое влияние инвазивного *A. negundo* на прорастание семян модельных видов трав. Если сравнивать воздействие вытяжек *A. negundo* только с водой, то можно получить статистическое подтверждение ингибирования. Например, различия между средними значениями параметра $x_{50\%}$ при проращивании на вытяжках из *A. negundo* (4.0 ± 0.4 суток) и на воде (3.6 ± 0.4 суток) были бы значимы (по критерию Тьюки $P < 0.01$; получены в трёхфакторном ANOVA при исключении из анализа вытяжек *S. caprea*, *P. padus* и *S. aucuparia*). Ингибирующее влияние *A. negundo* на прорастание было не сильнее, чем аналогичное влияние *S. caprea* и *P. padus*, и слабее, чем ингибирующее влияние *S. aucuparia*.

Согласно литературным данным, все растения-доноры синтезируют соединения, которые потенциально могут иметь аллелопатическую активность (Ping et al., 2001, Li et al., 2003; Bi et al., 2016; Barrales-Cureño et al., 2020; Беленовская, Лесиовская, 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водные вытяжки из листьев чужеродного в Евразии инвазивного дерева *A. negundo* слабо ингибировали прорастание семян местных трав. Но ингибирующее влияние *A. negundo* проявлялось не сильнее, чем аналогичное влияние местных растений *S. caprea* и *P. padus*. Наи-

более заметным было ингибирующее влияние местного кустарника *S. aucuparia*, которое надежно установлено как летом, так и осенью, т.е. устойчиво проявлялось в течение вегетационного сезона. Вывод об отсутствии явного аллелопатического эффекта вытек из листьев *A. negundo* хорошо согласуется с более ранним наблюдением о том, что всхожесть местных растений не подавляется в почвах, трансформированных *A. negundo* (Веселкин и др., 2019). Следовательно, пока не получено убедительных подтверждений, что аллелопатия может быть механизмом, объясняющим экологический успех *A. negundo* во вторичном ареале, хотя ранее эта гипотеза получила ряд экспериментальных подтверждений (Csiszár, 2009; Ерёменко, 2012; Csiszár et al., 2013; Александров, Калашников, 2019).

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа является частью проекта РФФИ № 20-34-90084.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Д.С., Калашников Д.В. Влияние экстрактов листового опада берёзы и кленов на прорастание семян и начальные этапы роста газонных культур // Вестник ландшафтной архитектуры. 2019. № 17. С. 3–6.
- Беленовская Л.М., Лесиовская Е.Е. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae–Ariaceae. Спб., М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 601 с.
- Веселкин Д.В., Коржиневская А.А., Подгаевская Е.Н. Состав и численность адвентивных и инвазивных кустарников и деревьев подлеска в лесопарках г Екатеринбурга // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 42. С. 102–118.
- Веселкин Д.В., Рафикова О.С., Екшибаров Е.Д. Почва из зарослей инвазивного *Acer negundo* неблагоприятна для образования микоризы у аборигенных трав // Журнал общей биологии. 2019. Т. 80. № 3. С. 214–225.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. Москва: Издательство ГЕОС, 2010. 503 с.
- Ерёменко Ю.А. Аллелопатические свойства адвентивных видов древесно-кустарниковых растений // Промышленная ботаника. 2012. Т. 12. С. 188–193.
- Панасенко Н.Н., Володин В.В., Володченко Ю.С., Холенко М.С. Аллелопатические свойства *Acer negundo* // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2018. № 1. С. 34–36.

- Цандекова О.Л. Особенности химического состава растительного опада *Acer negundo* L. (Sapindaceae) в условиях нарушенных пойменных фитоценозов // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 197–203.
- Anacker B.L., Klironomos J.N., Maherali H. et al. Phylogenetic conservatism in plant-soil feedback and its implications for plant abundance // Ecology Letters. 2014. Vol. 17. № 12. P. 1613–1621.
- Barrales-Cureño H.J., Salgado-Garciglia R., López-Valdez L.G. et al. Metabolomic data of phenolic compounds from *Acer negundo* extracts // Data in brief. 2020. Vol. 30. № 105569. P 1–13.
- Bi W., Gao Y., Shen J. et al. Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Acer* (maple): a review // Journal of ethnopharmacology. 2016. Vol. 189. P. 31–60.
- Brouwer N.L., Hale A.N., Kalisz S. Mutualism-disrupting allelopathic invader drives carbon stress and vital rate decline in a forest perennial herb // AoB Plants. 2015. Vol. 7. P. 1–14.
- Callaway R.M., Ridenour W.M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability // Frontiers in Ecology and the Environment. 2004. Vol. 2. № 8. P. 436–443.
- Chen F., Peng S., Chen B. et al. Allelopathic potential and volatile compounds of *Rosmarinus officinalis* L. against weeds // Allelopathy Journal. 2013. Vol. 32. № 1. P. 57–66.
- Csiszár Á. Allelopathic effects of invasive woody plant species in Hungary // Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 2009. Vol. 5. P. 9–17.
- Csiszár Á., Korda M., Schmidt D. et al. Allelopathic potential of some invasive plant species occurring in Hungary // Allelopathy Journal. 2013. Vol. 31. № 2. P. 309–318.
- Dakshini K. On laboratory bioassays in allelopathy // The Botanical Review. 1995. Vol. 61. № 1. P. 28–44.
- Dorning M., Cipollini D. Leaf and root extracts of the invasive shrub, *Lonicera maackii*, inhibit seed germination of three herbs with no autotoxic effects // Plant Ecology. 2006. Vol. 184. № 2. P. 287–296.
- Fang K., Chen L., Zhou J. et al. Plant–soil–foliage feedbacks on seed germination and seedling growth of the invasive plant *Ageratina adenophora* // Proceedings of the Royal Society B. 2019. Vol. 286. P. 1–10.
- John J., Patil R., Joy M., Nair A. Methodology of allelopathy research: 1. Agroforestry systems // Allelopathy Journal. 2006. Vol. 18. № 2. P. 173–214.
- Klironomos J.N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities // Nature. 2002. Vol. 417. № 6884. P. 67–70.
- Li J., Jin Y., Luo Y. et al. Leaf Volatiles from Host Tree *Acer negundo*: Diurnal Rhythm and Behavior Responses of *Anoplophora glabripennis*

- to Volatiles in Field // Journal of Integrative Plant Biology. 2003. Vol. 45. № 2. P. 177–182.
- Lu Y., Wang Y., Wu B. et al. Allelopathy of three Compositae invasive alien species on indigenous *Lactuca sativa* L. enhanced under Cu and Pb pollution // Scientia Horticulturae. 2020. Vol. 267. P. 1–9.
- Nasir H., Iqbal Z., Hiradate S., Fujii Y. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. // Journal of Chemical Ecology. 2005. Vol. 31. № 9. P. 2179–2192.
- Ping L., Shen Y.-B., Jin Y.-J. Volatiles released in succession from artificially damaged ashleaf maple leaves // Functional plant biology. 2001. Vol. 28. № 6. P. 513–517.
- Sharma N., Samra J., Singh H. Effect of aqueous extracts of *Populus deltoides* M. on germination and seedling growth. 1. Wheat // Allelopathy Journal. 2000. Vol. 7. № 1. P. 56–68.
- Tseng M.-H., Kuo Y.-H., Chen Y.-M., Chou C.-H. Allelopathic Potential of *Macaranga tanarius* (L.) Muell.-Arg // Journal of chemical ecology. 2003. Vol. 29. № 5. P. 1269–1286.
- Weston L.A. Are laboratory bioassays for allelopathy suitable for prediction of field responses? // Journal of Chemical Ecology. 2000. Vol. 26. № 9. P. 2111–2118.
- Zhang C., Fu S. Allelopathic effects of leaf litter and live roots exudates of *Eucalyptus* species on crops // Allelopathy Journal. 2010. Vol. 26. № 1. P. 91–99.

Отношения стабильных изотопов свинца в современных поверхностных отложениях урбанизированной территории как индикатор экологических и геохимических процессов

Н.А. Реутова¹, А.А. Селезнев^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

² Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: загрязнение свинцом, современные поверхностные отложения, стабильные изотопы свинца, урбанизированная территория

Свинец имеет четыре встречающихся в природе изотопа: ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb и ²⁰⁸Pb – образованных в результате радиоактивных распадов ²³⁸U, ²³⁵U и ²³²Th соответственно, и ²⁰⁴Pb – единственный нерадиоактивный изотоп, который остается неизменным в земной коре (Cheng, Нц, 2010). Поскольку процессы физико-химического фракционирования на этапах добычи и переработки руды не оказывают влияния на изотопный состав Pb, высвобожденный в окружающую среду свинец отражает изотопную сигнатуру рудного месторождения, в котором он был добыт (Bird, 2011). В исследовательской практике отношения стабильных изотопов свинца широко используют в качестве индикаторов для определения источников и путей загрязнения, а также с целью реконструкции динамики загрязнения за длительный период времени (Пампура и др., 2019; Sun et al., 2018). **Целью** исследования являлось применение метода трейсинга отношений стабильных изотопов Pb для анализа загрязнения поверхностных наносов в городской среде на примере крупных городов России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является поверхностная фация современных антропогенных отложений на урбанизированных территориях, иными словами, городская грязь. Этот компонент окружающей среды участвует в длительных процессах миграции загрязняющих веществ и их накопления (Seleznev et al., 2019; Seleznev et al., 2020).

Отложения сформированы в результате современных природных (выветривание строительных материалов и конструкций, дорожных покрытий и тротуаров, эрозия почвы и грунта, пылевые выпадения из атмосферы) и антропогенных (земляные работы, разрушение тротуаров, грунта и дорожного покрытия транспортными средствами) процессов.

Пробы отложений были отобраны в летний период 2016–2018 гг. из локальных понижений микрорельефа в жилых районах городов по нерегулярной сетке. В отобранных пробах измеряли концентрации макро- и микроэлементов. Изотопные отношения были определены в поверхностных отложениях пяти городов России: Нижний Тагил (48 проб), Уфа (43), Магнитогорск (38), Тюмень (39) и Челябинск (60) – методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. На первом этапе анализа был восстановлен геохимический фон для урбанизированных территорий на основе анализа современных отложений согласно предложенному ранее методу (Seleznev et al., 2018). Выборки проб были разделены на две категории: «загрязнённые» Pb и «чистые».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показаны значения средней арифметической концентрации Pb для каждого города в зависимости от категорий, к которым были отнесены образцы. Средние арифметические концентрации Pb в группах незагрязнённых проб в разных городах расположены в диапазоне от 17 до 55 мг/кг (коэффициенты вариации от 0.11 до 0.33). В группах с повышенным содержанием свинца средние арифметические концентрации Pb определены в диапазоне от 57 до 223 мг/кг (коэффициенты вариации от 0.41 до 1.02). Максимальная средняя концентрация Pb как в чистых, так и в загрязнённых пробах, была установлена в г. Челябинск. Объединенные «чистые» и «загрязнённые» образцы из Магнитогорска, Тюмени и Уфы представляют собой относительно однородную группу с точки зрения концентрации Pb. Средние значения изотопных отношений Pb для городов представлены в таблице и на рис. 2.

Как известно, низкая радиогенность изотопного состава для компонентов окружающей среды выражена в низких значениях следующих изотопных отношений: $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ (Walraven et al., 2014). Из таблицы и рис. 2 видно, что наибольший антропогенный вклад в формирование загрязнения Pb отмечен среди данных для городов Челябинск и Тюмень.

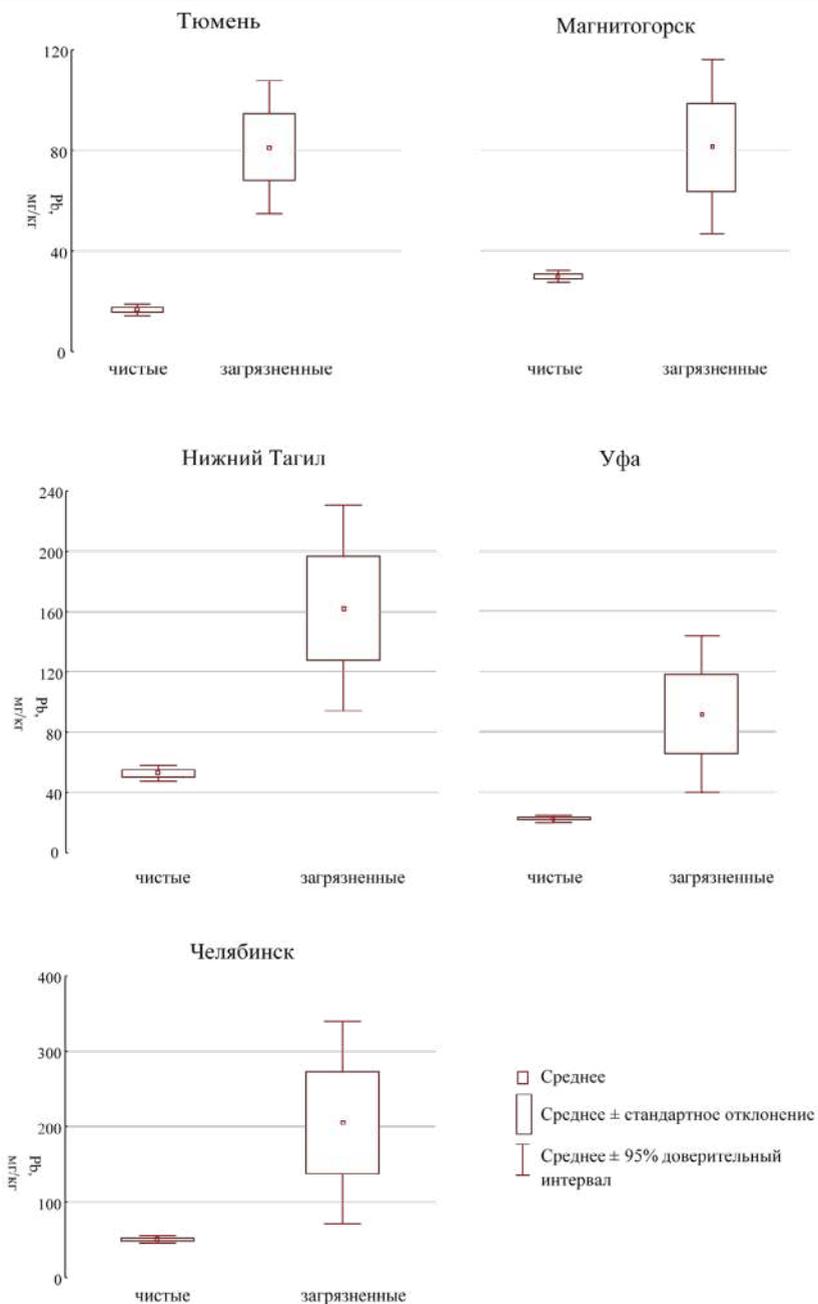


Рис. 1. Средние значения концентрации Pb для различных групп проб.

Таблица. Средние значения изотопных отношений Pb для городов России

Город	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	
	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
Уфа	1.174	0.008	15.606	0.006
Магнитогорск	1.174	0.009	16.045	0.010
Челябинск	1.147	0.014	15.592	0.018
Тюмень	1.162	0.022	15.627	0.018
Нижний Тагил	1.174	0.022	15.660	0.055

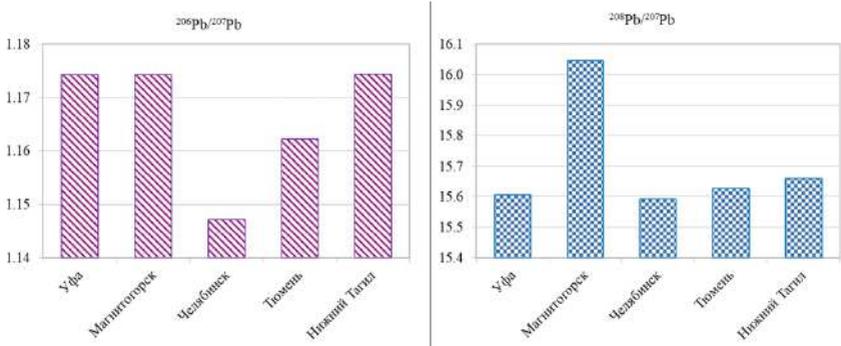


Рис. 2. Средние значения изотопных отношений Pb для городов России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ подтвердил, что изотопные отношения свинца в современных отложениях являются индикатором экологического состояния городской среды. Было обнаружено, что свинец по-прежнему остается в компонентах окружающей среды, в том числе поверхностных отложениях, что может быть связано с использованием этилированного бензина в качестве топлива для транспортных средств до того, как это было запрещено.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-35-60011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Памтура Т.В., Мейли М., Холм К. и др. Погребенные палеопочвы как фоновые объекты для оценки уровня загрязнения свинцом современных почв Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2019. Т. 1. С. 43–60.

- Bird G.* Provenancing anthropogenic Pb within the fluvial environment: Developments and challenges in the use of Pb isotopes // *Environment International*. 2011. Vol. 37. № 4 P. 802–819.
- Cheng H., Hu Y.* Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review // *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158. № 5. P. 1134–1146.
- Seleznev A.A., Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P.* Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge // *Environmental Processes*. 2019. Vol. 6. № 3. P. 581–595.
- Seleznev A.A., Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P.* Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. № 1. P. 1–16.
- Seleznev A.A., Yarmoshenko I.V., Sergeev A.P.* Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment // *Geoderma*. 2018. Vol. 326. P. 1–8.
- Sun J., Yu R., Hu G.* et al. Tracing of heavy metal sources and mobility in a soil depth profile via isotopic variation of Pb and Sr // *CATENA*. 2018. Vol. 171. P. 440–449.
- Walraven N., van Os B.J.H., Klaver G.Th.* et al. The lead (Pb) isotope signature, behaviour and fate of traffic-related lead pollution in roadside soils in The Netherlands // *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 472. P. 888–900.

Методические подходы к изучению радиоуглерода жидкосцинтилляционным методом

З.Б. Сержанова, А.М. Раимканова

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
РГП НЯЦ РК, г. Курчатов

Ключевые слова: жидкосцинтилляционный метод, почва, радиоуглерод, Семипалатинский испытательный полигон

Радиоуглерод (^{14}C) – долгоживущий изотоп с периодом полураспада 5730 лет. В природных условиях он образуется в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения. Радиоуглерод техногенного происхождения поступает в атмосферу при испытаниях ядерного оружия («бомбовый углерод») и при работе ядерных реакторов, как промышленных, так транспортных и исследовательских (Колосов и др., 2018). После поступления в окружающую среду, ^{14}C входит в состав подвижных химических соединений, таких как $^{14}\text{CO}_2$ (70–95%), ^{14}CO (25–30%) и углеводов (0–25%). Кроме того, он попадает в природную среду с жидкими сбросами в виде карбонатов и ионов угольной кислоты (Чеботина, 2007).

На сегодняшний день проблема исследования поведения ^{14}C в окружающей среде в районах размещения предприятий ядерного-топливного цикла (ЯТЦ) и в местах проведения ядерных испытаний изучена недостаточно. Изучение уровня концентрации ^{14}C с целью осуществления радиационного контроля и радиоэкологического мониторинга до настоящего времени в Казахстане не проводились. Радиоуглерод является своеобразным маркером техногенного загрязнения. Он способен накапливаться и оставаться долгое время в биотических и абиотических компонентах экосистем, что позволяет проводить ретроспективный и текущий анализ состояния окружающей среды (Калашникова и др., 2016). Проведение контроля за содержанием ^{14}C в почве является научно и практически обоснованным, так как существует опасность его миграции по биологической цепочке. В наземных пищевых цепочках, приводящих к поступлению радионуклидов в организм человека, почва является наиболее емким и инерционным звеном. Разрушающее воздействие радиоуглерода на живые организмы определяется его биологическим сродством к тканям живого организма (Михайлов и др., 2003). Приведенные соображения положены в основу исследований

содержания ^{14}C в почве на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Определение концентраций ^{14}C с помощью системы для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio (рис. 1) потребовало создания методических подходов, гарантирующих получение достоверных данных. Поэтому одной из первоочередных задач являлось использование сертифицированных стандартов для контроля качества результатов исследований и производительности процедуры сжигания. Для подготовки проб – прокаливания и озоления, использовали автоматизированная система Pyrolyser-6 Trio, специально разработанная для эффективного извлечения ^3H , ^{14}C , а также других летучих радионуклидов из различных матриц (почва, донные отложения, пищевые продукты, биота, бетон и другие строительные материалы, металлы и биопробы). Таким образом, оценку точности радиоуглеродного анализа проводили при изменении трёх основных составляющих анализа, которые могут оказать наибольший эффект на конечный результат – это матрица образца, температурный режим и количество подаваемого абсорбента. Учёт и контроль данных параметров гарантирует получение высококачественных и воспроизводимых проб для жидкосцинтилляционного метода анализа.



Рисунок 1. Система для прокаливания и озоления проб Pyrolyser-6 Trio.

Бета-спектрометрические измерения концентрации ^{14}C проводили на основе аттестованной методики (ISO 13162, 2011). Определение удельной активности ^{14}C в полученных образцах осуществлялось

с использованием высокочувствительного альфа-бета радиометра SL-300 (рис. 2). На начальном этапе выполняли калибровку радиометра по эффективности с использованием калибровочных стандартов ^{14}C фирмы PerkinElmer с построением кривой гашения, которая хорошо согласуется с заводской.



Рисунок 2. Альфа-бета радиометр SL-300.

Разработанные методические приемы исследования ^{14}C в почвенных экосистемах апробированы на почвах технических площадок «Опытного поля» (рис. 3). Это первая испытательная площадка на СИП, территория которого представляет собой равнину диаметром порядка 20 км и площадью около 300 км², окруженную с трёх сторон невысокими холмами. На её территории в период с 1949 по 1962 гг. было проведено 116 ядерных испытаний (86 воздушных и 30 наземных). В качестве участков исследований выбраны основные технические площадки «Опытного поля» – П-1, П-2, П-3, П-5, П-7. На технических площадках П-1, П-3, П-5 проводили наземные ядерные испытания, а на П-2, П-7 – гидроядерные и гидродинамические эксперименты, в процессе которых практически отсутствовало значимое ядерное энерговыделение (Семипалатинский испытательный полигон, 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важным моментом при разработке методического подхода исследования ^{14}C являлось выявление основных факторов, влияющих на радиоуглеродный анализ. Наибольший эффект на конечный результат могут оказать подложка, температурный режим и объём химического ловителя (абсорбента). В качестве подложек были выбраны песок

и фильтр. Для оценки возможного влияния температурного фактора на химический выход ^{14}C , эксперименты проводили при температуре 600 °С и 900 °С с продолжительностью анализа 4 и 6 часов. Исследовали объёмы подаваемого химического уловителя – 10, 15, 20 мл.

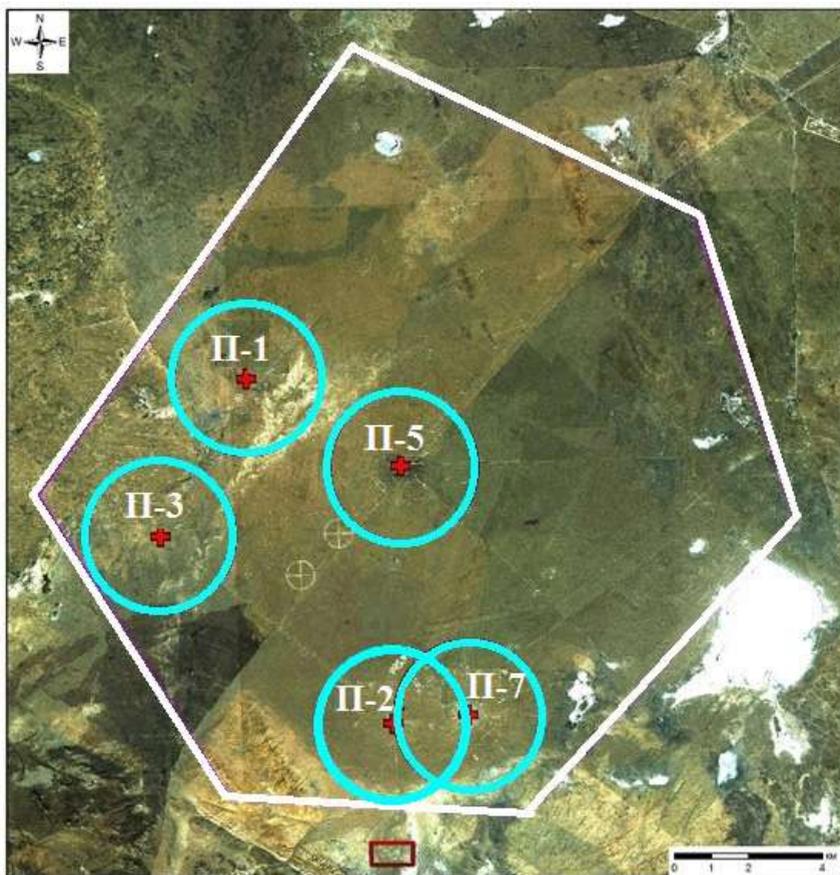


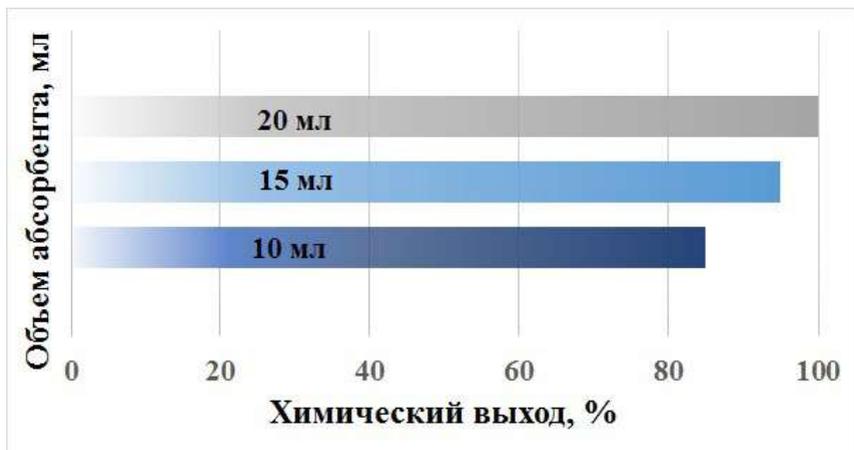
Рисунок 3. Технические площадки на «Опытном поле».

Анализ жидких образцов показал эффективность использования подложек в виде фильтра и песка (таблица). Программой для прокаливания и озоления жидких образцов на Pyrolyser-6 Trio предложена экспрессная программа «Normal» ($T = 600\text{ °C}$) с продолжительностью анализа 4 часа. Пробы почв с высоким содержанием органического вещества рекомендовано исследовать по программе «Graphite» ($T = 900\text{ °C}$), которая обеспечивает полное количественное восстановление ^{14}C из исследуемого образца.

Таблица. Влияние температуры и вида подложки на химический выход ^{14}C

№	Вид подложки	Программа «Normal» (T = 600 °C)		Программа «Graphite» (T = 900 °C)	
		Удельная активность ^{14}C , Бк/кг	Химический выход, %	Удельная активность ^{14}C , Бк/кг	Химический выход, %
1	песок	3050±460	89	3490±520	91
2	песок	3100±470	90	3170±480	93
3	песок	3120±470	91	3140±470	100
4	фильтр	3300±500	92	3210±480	92
5	фильтр	3370±510	96	3170±480	94
6	фильтр	3150±470	98	3300±500	96

Также в ходе экспериментальных работ установлено, что оптимальный объём химического уловителя CARBO-SORB®E в барботажных устройствах должен составлять 20 мл (рис. 4). Этот объём достаточен для удержания углекислого газа, образованного в процессе сжигания пробы.

Рисунок 4. Химический выход ^{14}C в зависимости от объёма абсорбента.

Таким образом, методические подходы, разработанные и апробированные на натуральных образцах почв с площадки «Опытное поле», показали значимость проводимых исследований. По результатам экспериментов (рис. 5) на исследуемой площадке определены повышенные концентрации ^{14}C , достигающие 2500 Бк/кг. Более того, выявлен неравномерный характер распределения ^{14}C в почвах: радиоактивное загрязнение местности приурочено непосредственно к местам прове-

дения испытаний – эпицентрам и эпицентральной зонам. Необходимо продолжение работ по изучению вертикального распределения ^{14}C по почвенному профилю и пополнению базы данных по радиоуглеродному мониторингу исследуемой территории.

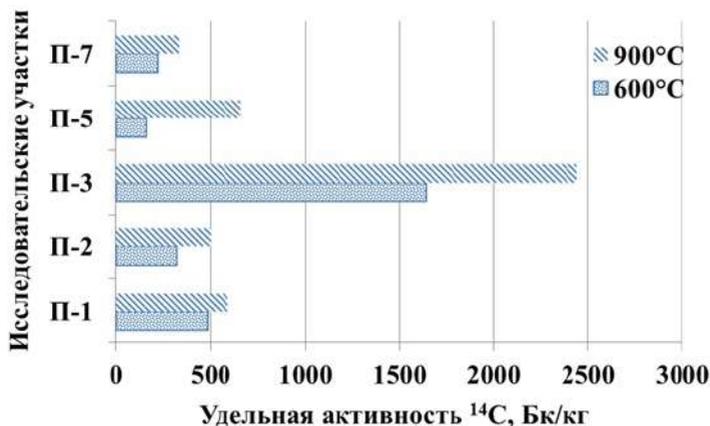


Рисунок 5. Распределение ^{14}C в почвах технических площадок «Опытного поля».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный методический подход будет в дальнейшем использован для проведения комплексных исследований распределения ^{14}C в почве, растительности и водных объектах, что позволит выявить потенциальные источники радиоактивности и проследить динамику радиоактивного загрязнения окружающей среды во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Калашникова Д.А., Волков Ю.В., Маркелова А.Н. и др. Радиоуглерод и тритий в объектах окружающей среды. Практическое использование этих радиоизотопов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции. Томск: ТПУ, 2016. С. 274–277.
- Качество воды. Определение активности ^{14}C . Метод жидкостного сцинтилляционного счёта. Международный стандарт ISO 13162. I изд. 01.11.2011. С. 2–5.
- Колосов И.Л., Родионов А.А., Лучина Г.И. и др. Радиоуглеродный и тритиевый мониторинг системы гидросфера-биосфера в районе размещения Белорусской АЭС // Літасфера. 2018. Т. 48. № 1. С. 86–94.
- Михайлов Н.Д., Колковский В.М., Павлова И.Д., Лучина Г.И. Радиоуглерод в ландшафтах Беларуси // Літасфера. 2003. Т. 19. № 2. С. 130–139.

Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние.

Издание 3-е, переработанное и дополненное. Павлодар: Дом печати, 2017. С. 6–8.

Чеботина М.Я., Пономарева Р.П. Особенности накопления радиоуглерода в компонентах природной среды // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург. 2007. Т. 13. № 4. С. 86–94.

Коллекция редких видов рода *Iris* L. Ботанического сада-института ДВО РАН

Н.В. Столетова¹, Л.Н. Миронова²

¹ ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

² ФГБУН Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

Ключевые слова: *Iris*, редкие виды, интродукция

Согласно Стратегии ботанических садов по охране растений (1994 г.) с усилением антропогенных изменений природной флоры, очевидно, что сохранять виды в природе как естественно развивающиеся популяции затруднительно. Растения, обреченные на уничтожение, в таких случаях должны быть сохранены вне естественных мест обитания. Благодаря накопленному опыту культуры растений, ботанические сады являются наиболее подходящими учреждениями для сохранения редких и исчезающих видов (Винтерголлер, 1983).

Цель исследований коллекции редких видов ириса – изучение их биологических особенностей при введении в культуру в условиях муссонного климата юга Приморья.

В коллекции Ботанического сада-института ДВО РАН представлены 8 видов ириса являющиеся редкими, включенные в Красные книги как государственного, так и регионального уровня с высоким статусом редкости.

Iris domestica Goldblatt et Mabb.(=*Belamcanda chinensis*), *I. ventricosa* Pall, *I. vorobievii* N.S. Pavlova включены в Красные книги Приморского края (2008) и Российской Федерации (2008) как виды, находящиеся под угрозой исчезновения. В условиях культуры завязывают семена, но поддержание этих видов осуществляется за счёт посева семян и образцов из природы.

I. dichotoma (Pall.) L.W. Lenz (= *Pardanthopsis dihotoma*) включен в Красную книгу Амурской области (2020) как редкий вид на северо-восточном пределе распространения. В условиях культуры завязывает семена, но как сухолюбивый вид недолговечен и возобновление осуществляют за счёт посева собранных семян.

Iris ensata Thunb. включен в Красную книгу Российской Федерации (2008) как редкий вид. Этот вид способен к естественному вегетативному возобновлению и самоподдержанию при помощи самосева.

Iris oxypetala Bunge включен в Красную книгу Приморского края (2008) как уязвимый вид. Завязывает семена, но поддерживают за счёт образцов из природы.

Iris laevigata Fisch et Mey включен в Красную книгу Приморского края как вид с низкой степенью риска. При выращивании в водной среде ежегодно завязывает семена.

Iris notha M. Bieb. включен в Красную книгу Российской Федерации как вид сокращающий численность. В условиях культуры цветет, но семян не завязывает.

Переноса растения из естественных мест произрастания в условия культуры, имеем возможность, с одной стороны, более углубленно изучать особенности развития и размножения вида, а с другой – сравнивать их с развитием особей в природных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Винтерголлер Б.А., Рубаник В.Г., Нилов В.Н., Водопьянова В.Г. Редкие и исчезающие виды природной флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны. М.: Наука, 1983. 302 с.
- Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2020. 502 с.
- Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. 688 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2008. 855 с.
- Стратегия ботанических садов по охране растений. М.: Б. м., 1994. 61 с.

Сокращение площадей горных тундр на разных типах границ леса (г. Дальний Таганай, НП «Таганай»)

М.В. Терентьева

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: горные тундры, верхняя граница леса, изменение климата, Южный Урал

Глобальное изменение климата, отмеченное в XX в., влияет на флору и растительность (Elmendorf et al., 2012). Наиболее наглядно эти изменения проявляются в экстремальных условиях зональных и горных тундр. В XX в. зафиксировано интенсивное смещение границ древостоев на 30–60 м по высоте над ур. м. в течение последних 60–80 лет (Моисеев и др., 2016).

С. Г. Шиятовым (1962) в середине XX в. начаты работы по изучению климатогенной динамики верхней границы леса в пределах Уральской горной страны. Согласно данным метеостанции «Таганай», в период с 1961 по 1988 гг., отмечено увеличение разницы между минимальными и максимальными температурами в холодное время года, и увеличение количества осадков за год (в большей мере в холодное время года). В результате С. Г. Шиятовым был отмечен интенсивный рост деревьев на г. Дальний Таганай с 1970 г. по 1995 г. и к 1995 г. верхняя граница леса достигла высоты 1070–1090 м над ур. м. (Шиятов и др., 2001). В настоящее время её уровень достигает 1096 м над ур. м. (Гурская и др., 2018).

Для г. Дальний Таганай (Гурская и др., 2018) выделено несколько типов верхних границ леса (рис. 1) в зависимости от их лимитирующего фактора: термические, курумные, ветровые и снеговые. Для термических границ леса единственным лимитирующим фактором является температура, другие условия произрастания деревьев очень благоприятные. Для курумных границ характерна крутизна склона свыше 30° и слабое развитие почвы, лимитирующим фактором является большое количество крупного обломочного материала горных пород. Это преобладающий тип границ на вершине г. Дальний Таганай.

Для ветровых границ характерно произрастание деревьев на пологом, незащищенном склоне. Главным лимитирующим фактором являются южные ветра. Для снеговых границ характерен сокращен-

ный вегетационный период, меньший уровень освещённости, переувлажненность субстрата. Главный лимитирующий фактор – скопление снега. По данным М.А. Гурской и её коллег, продвижение деревьев на курумной границе наиболее медленное, поскольку требует разрушения камней и образования достаточного уровня почвы (Гурская и др., 2018).



Рисунок 1. Распределение экологических типов верхней границы леса на г. Дальний Таганай, согласно карто-схеме, приведенной в работе М.А. Гурской (2018).

1 – снеговая граница, 2 – термическая граница, 3 – ветровая граница, 4 – курумная граница. Стрелка – место проведения работ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наше исследование было проведено на территории г. Дальний Таганай (Южный Урал, НП «Таганай», координаты 55.38 N, 59.90 E). Растительность г. Дальний Таганай формирует горно-лесной пояс, переходную полосу (экотон) и горно-тундровый пояс. Горно-лесной пояс представлен южно-таежными лесами, состоящими преимущественно из *Picea obovata* Ledeb.

Экотон представлен еловыми редколесьями и среднетравными лугами с куртинами можжевельника (Станюкович, 1973). Мы принимаем под экотоном заросли можжевельника и других низкорослых кустарников, среднетравные луга с куртинами можжевельника и отдельно сто-

ящими особями елей. Горно-тундровый пояс представлен в основном кустарничково-лишайниковой горной тундрой, в которой травяно-кустарничковый ярус представлен *Vaccinium uliginosum* L., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup, *Juncus trifidus* L. и *Festuca igoschiniae* Tzvelev.

В 1990 г. через вершину г. Дальний Таганай П.А. Моисеевым был заложен геоботанический профиль (рис. 2). В 2020 г., в пределах геоботанического профиля 1990 г., был заложен собственный геоботанический профиль. Была поставлена задача оценить изменения, произошедшие за 30 лет (с 1990 по 2020 гг.).



Рисунок 2. Расположение геоботанического профиля на г. Дальний Таганай

Профиль 2020 г. проходил от термической до курумной границы леса, пересекая верхнюю часть горно-лесного пояса, экотон и горно-тундровый пояс. В пределах профиля было описано 34 площадки. Площадки имели размер 20x20 м. Внутри площадки были описаны растительные сообщества в их естественных границах. На каждой площадке для древесного, кустарничкового и травяно-кустарничкового ярусов составляли список видов, определяли высоту ярусов, отмечали проективное покрытие видов. Видовая принадлежность растений подтверждена в Гербарии Музея ИЭРиЖ УрО РАН (SVER). В ходе камеральной работы были созданы обобщенные карты геоботанических профилей 1990 и 2020 гг. с выделением на них растительности горно-лесного пояса, экотона и горно-тундрового пояса. Подсчёт площадей, занимаемых растительностью каждого горного пояса, был произведен на основе имеющихся собственных изменений с использованием программы Adobe Photoshop СС выпуск 19.1.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На обобщенном геоботаническом профиле 1990 г. (рис. 3А) отмечено преобладание горно-тундровых сообществ. Горно-лесной пояс в пределах профиля 1990 г. отсутствует. На схеме растительности 1990 г.

экотон отмечен как со стороны термической границы леса, так и со стороны курумной границы леса. Растительность экотона преобладала со стороны термической границы леса. В 2020 г. (рис. 3Б) отмечено проникновение древесной растительности с образованием сообществ горно-лесного пояса в экотоне в условиях термической границы леса, при этом происходит раздробление экотонной полосы, а также сокращение площади горных тундр за счёт продвижения леса и экотона вверх. Со стороны курумной границы леса также отмечено расширение площадей экотонных сообществ.

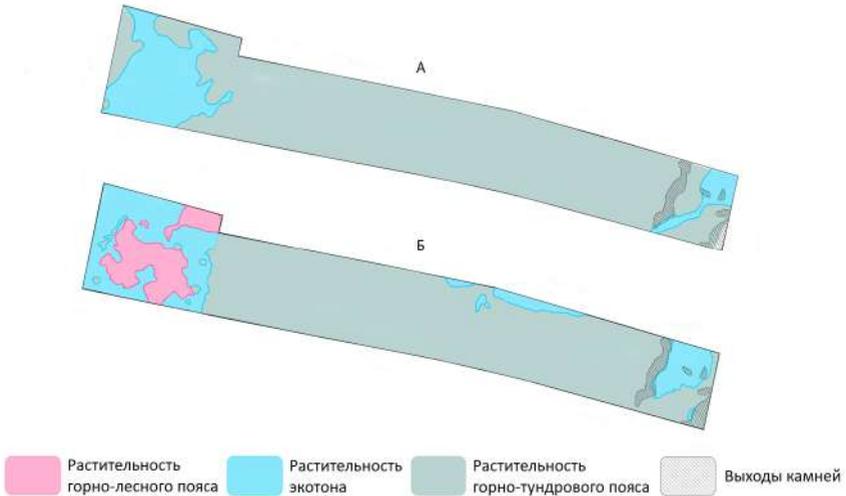


Рисунок 3. Обобщенная карта геоботанического профиля 1990 г. (А) и 2020 г. (Б).

Продвижение сообществ горно-лесного пояса в условиях курумной границы леса в настоящий момент не отмечено (рис. 3Б). Наблюдаемые различия в соотношении площадей растительности горно-лесного пояса – экотона – горно-тундрового пояса в западной и восточной части геоботанического профиля обусловлено разными типами границ леса. Полоса курумников, расположенная в западной части профиля, препятствует продвижению верхней границы леса.

Площадь каждого из сравниваемых профилей 1.35 га. Площадь, занимаемая растительностью горно-лесного пояса, проникшей за последние 30 лет в пределы профиля, составила 0.13 га (таблица, рис. 3), что привело к сокращению площади горной тундры с 1.12 га до 0.96 га.

В большей степени изменения площади горной тундры отмечены со стороны термической границы (с 0.52 до 0.41 га). Для площади горной

тундры незначительное сокращение отмечено со стороны курумной границы леса. Со стороны курумной границы леса отмечено увеличение площади экотона (с 0.04 до 0.09 га).

Таблица. Площадь (га) растительности горно-тундрового пояса, экотона и горно-лесного пояса со стороны термической и курумной границ леса в 1990 г. и 2020 г.

Исследуемые пояса	ТГЛ 1990 г.	КГЛ 1990 г.	ТГЛ 2020 г.	КГЛ 2020 г.
Горно-тундровый пояс	0.52	0.60	0.41	0.55
Экотон	0.19	0.04	0.17	0.09
Горно-лесной пояс	–	–	0.13	–
Общая площадь	1.35		1.35	

Примечание. ТГЛ – термическая граница леса, КГЛ – курумная граница леса.

С. Г. Шиятов с коллегами (2001) предполагали, что полное зарастание вершины г. Дальний Таганай произойдет к 2040–2050 гг. Однако, наличие курумной границы замедляет данный процесс. Мы предполагаем, что полное зарастание вершины г. Дальний Таганай, в условиях современной климатической обстановки, произойдет значительно позднее.

ВЫВОДЫ

1. С 1990 по 2020 гг. площади горных тундр на г. Дальний Таганай сократились на 0.16 га.
2. Наибольшие изменения в растительном покрове на г. Дальний Таганай отмечены со стороны термической границы леса.
3. Продвижение древесной растительности приводит к раздроблению экотона и сокращению площадей горных тундр.
4. Со стороны курумной границы леса отмечено только расширение растительных сообществ экотона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гурская М.А., Кукарских В.В., Григорьев А.А., Бубнов М.О. Типы экологических границ леса на горе Дальний Таганай на Южном Урале // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2018. Т. 11. № 3. С. 237–247.
- Моисеев П.А., Бубнов М.О., Дэви Н.М., Нагимов З.Я. Изменение структуры и фитомассы древостоев на верхнем пределе их произрастания на Южном Урале // Экология. 2016. № 3. С. 163–172.

Станюкович К.В. Растительность гор СССР. Душанбе: Дониш, 1973. 416 с.

Шиятов С.Г. Верхняя граница леса на Полярном Урале и её динамика в связи с изменениями климата // Доклады первой научной конференции молодых специалистов биологов. Свердловск: Институт биологии Уральского филиала АН СССР, 1962. С. 37–48.

Шиятов С.Г., Мазена В.С., Мусеев П.А., Братухина М.Ю. Изменения климата и их влияние на горные экосистемы Национального парка «Таганай» за последние столетия // Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Москва: Русский Университет, 2001. С. 16–31.

Elmendorf S.C., Henry G.H.R., Hollister R.D. Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming // Nature Climate Change. 2012. Vol. 2. P. 453–457.

Строение корней осок из местообитаний с разной степенью увлажнения и разных экоморф

Д.Е. Тукова

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ключевые слова: Carex L., поглощающие корни, корневые волоски, экзодерма, анатомия корня, экологические группы

Род *Carex* L., включающий более двух тыс. видов, отмечен высоким видовым богатством в бореальной зоне Северного полушария (Martín-Bravo et al., 2019). У осок изучено разнообразие приспособлений к почвенному питанию (Веселкин и др., 2014; Konoplenko et al., 2017; Hoffmann, 2019), которое, тем не менее, не удалось надежно связать с уровнем увлажнения местообитаний (Веселкин и др., 2014).

Цель работы – изучить строение корней осок из местообитаний с разной степенью увлажнения и у осок разных экоморф по отношению к увлажнению.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор растений вместе с корневыми системами проводили на территории г. Екатеринбург и в его окрестностях в 2018–2020 гг. в период цветения осок. Всего исследовано 23 вида: *Carex acuta* L., *C. aquatilis* Wahlenb., *C. arnellii* Christ ex Scheutz, *C. atherodes* Spreng., *C. brunnescens* (Pers.) Poir., *C. canescens* L., *C. digitata* L., *C. echinata* Murray, *C. elongata* L., *C. leporina* L., *C. loliacea* L., *C. montana* L., *C. nigra* (L.) Reichenb., *C. pallescens* L., *C. pediformis* C.A.Mey., *C. pilosa* Scop., *C. praecox* Schreb., *C. pseudocyperus* L., *C. supina* Willd. ex Wahlenb., *C. utriculata* Boott, *C. vaginata* Tausch, *C. vesicaria* L., *C. vulpina* L.

Местообитания были объединены в четыре группы, образуя градиент по уменьшению увлажнения: водоём – луг – лес – сухой склон. Экологические группы видов выделены по степени увлажнения среды: гигрофиты, мезофиты, ксеромезофиты (Овеснов и др., 2007).

Проанализировано от 2 до 11 особей каждого вида. Используются стандартные методы структурной ботаники. Регистрировали: число порядков ветвления корневой системы; тип корневых волосков; длину

типичных корневых волосков; диаметр среза; диаметр стелы; толщину паренхимы; число слоев клеток в паренхиме; число слоев клеток в экзодерме; толщину коры. Различия признаков у осок из разных местообитаний и разных групп оценивали с помощью ANOVA (F) и непараметрических критериев Краскела–Уоллиса (H) и Пирсона (χ^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Число порядков ветвления значительно различалось у осок из местообитаний с разной степенью увлажнения (рис. 1А), но не различалось у осок разных экологических групп (рис. 1Б). Как правило, увеличение разветвленности – это ответ корневой системы на дефицит влаги, способствующий повышению эффективности поиска воды (Усманов и др., 1986).

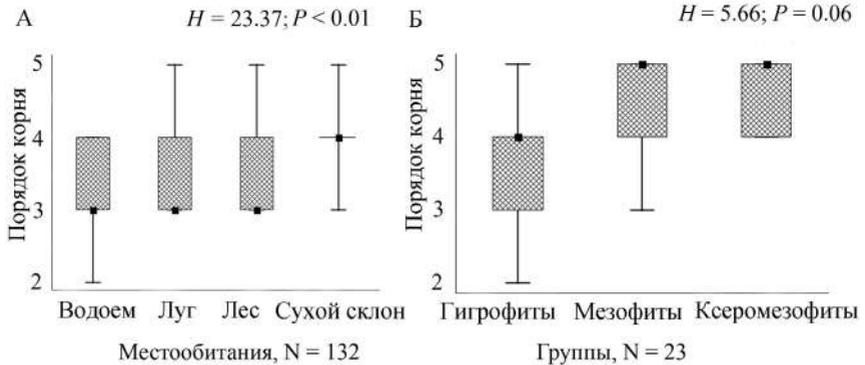


Рис. 1. Число порядков ветвления корней у осок из местообитаний с разной степенью увлажнения (А) и у видов осок разных экологических групп (Б). Квадрат – медиана; прямоугольник – нижние и верхние квартили; размах – минимум и максимум. H – критерий Краскела-Уоллиса, P – уровень значимости.

Встречаемость выпуклых корневых волосков была выше у осок из относительно сырых местообитаний (с берегов, водоёмов, лугов) по сравнению с сухими склонами ($\chi^2 = 4.22; P = 0.04$). Как правило, выпуклые корневые волоски развиваются при избыточном увлажнении (Konoplenko et al., 2017).

Длина типичных корневых волосков снижалась от влажных местообитаний к сухим, с максимальным значением у луговых осок (рис. 2А). Схожая, но статистически незначимая, закономерность прослеживается в экологических группах осок (рис. 2Б). Хорошо развитые типичные корневые волоски обычно встречены у растений сухих местообитаний (Padilla et al., 2013).

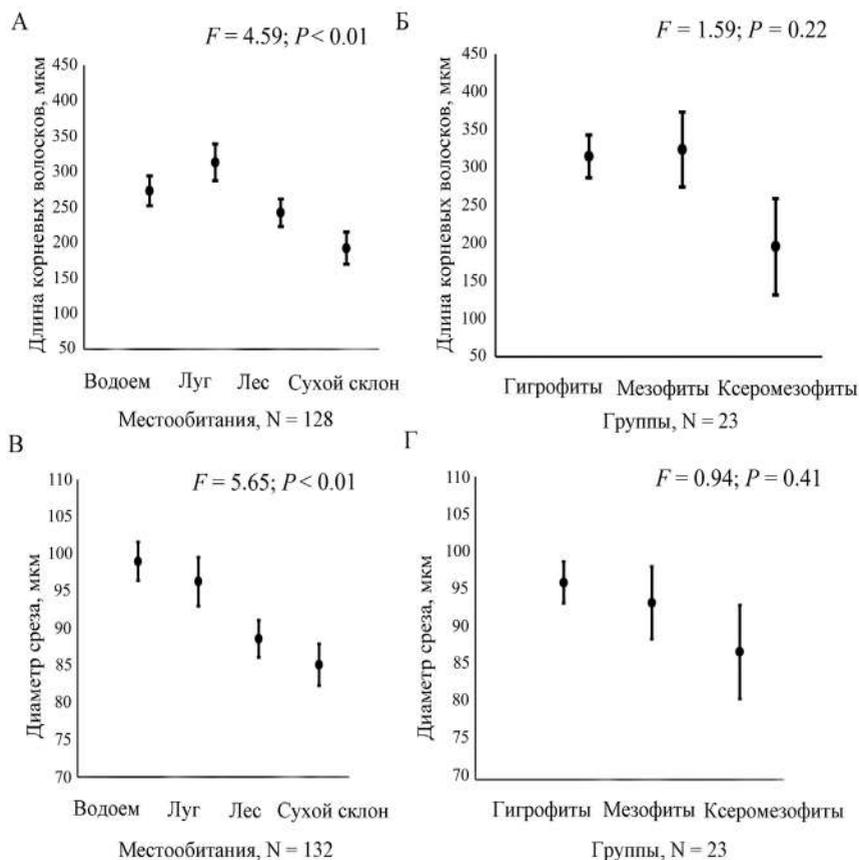


Рис. 2. Средняя длина корневых волосков (А, Б) и диаметр среза (В, Г) у осок из местообитаний с разной степенью увлажнения и видов осок разных экологических групп. Размах – доверительный интервал. F – критерий Фишера, P – уровень значимости.

Диаметр корней у осок в ряду водоём–луг–лес–сухой склон уменьшался (рис. 2В). Похожая, но незначимая, тенденция отмечена у видов экологических групп (рис. 2Г). Уменьшение диаметра важно для снижения метаболических затрат на рост корня в поисках источников влаги (Wang et al., 2016).

Количество слоев экзодермы значимо различалось у осок из местообитаний с разной степенью увлажнения (рис. 3А), но не у разных экоморф (рис. 3Б).

Наличие экзодермы имеет значение для околородных и водных растений (Lambers et al., 2018).

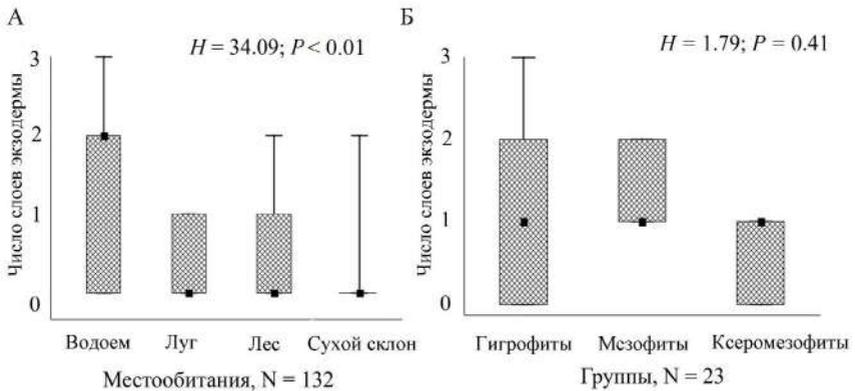


Рис. 3. Число слоев экзодермы у осок из местообитаний с разной степенью увлажнения (А) и видов осок разных экологических групп (Б). Квадрат – медиана; прямоугольник – нижние и верхние квартили; размах – минимум и максимум.

H – критерий Краскела-Уоллиса, P – уровень значимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые установлены морфо-анатомические признаки корней 23 видов осок из местообитаний Среднего Урала, различных по уровню увлажнения, и у осок разных экологических групп. Установлена выраженная изменчивость некоторых признаков, закономерно проявляющаяся в экологическом градиенте снижения увлажнения. Результаты, в основном, согласуются с опубликованными данными.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю особую благодарность к.б.н. А.Ю. Тептиной и к.б.н. Н.В. Золотаревой за помощь в определении видов осок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселкин Д.В., Конопленко М.А., Бетехтина А.А. Способы почвенного питания осок разных экологических стратегий // Экология. 2014. № 6. С. 477–477.
- Овеснов С.А., Ефимик Е.Г., Козьминых Т.В. и др. Иллюстрированный определитель растений Пермского края. Пермь: Издательство «Книжный мир», 2007. 742 с.
- Усманов И.Ю. Эколого-физиологические характеристики некоторых видов растений с разными типами стратегий из сообществ, подвергающихся антропогенному воздействию // Биологические науки. 1986. № 10. С. 66–70.

- Hoffmann M.H.* To the roots of: unexpected anatomical and functional diversity // *Systematic Botany*. 2019. Vol. 44. № 1. P. 26–31.
- Konoplenko M.A., Güsewell S., Veselkin D.V.* Taxonomic and ecological patterns in root traits of *Carex* (Cyperaceae) // *Plant and Soil*. 2017. Vol. 420. № 1. P. 37–48.
- Lambers H., Albornoz F., Kotula L.* et al. How belowground interactions contribute to the coexistence of mycorrhizal and non-mycorrhizal species in severely phosphorus-impooverished hyperdiverse ecosystems // *Plant and Soil*. 2018. Vol. 424. № 1. P. 11–33.
- Martin-Bravo S., Jiménez-Mejías P., Villaverde T.* et al. A tale of worldwide success: Behind the scenes of *Carex* (Cyperaceae) biogeography and diversification // *Journal of Systematics and Evolution*. 2019. Vol. 57. № 6. P. 695–718.
- Padilla F.M., Aarts B.H.J., Roijendijk Y.O.A.* et al. Root plasticity maintains growth of temperate grassland species under pulsed water supply // *Plant Ecology*. 2013. Vol. 369. P. 377–386.
- Wang Y., Dong X., Wang H.* et al. Root tip morphology, anatomy, chemistry and potential hydraulic conductivity vary with soil depth in three temperate hardwood species // *Tree Physiology*. 2016. Vol. 36. P. 99–108.

Однотологические характеристики *Craseomys rufocanus* из голоценовых отложений пещер Дальнего Востока

А.О. Усольцева

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: голоцен, Дальний Восток, красно-серая полёвка, одонтологические характеристики, тафономия

Красно-серая полёвка (*Craseomys rufocanus* Sundevall, 1846) — типичный обитатель таежной зоны, тесно связан с лесными сообществами разного типа, и может использоваться в качестве маркерного вида в палеоэкологических исследованиях (Бородин, 1988; Костенко, 2000). *C. rufocanus* имеет восточноазиатское происхождение, что показано на основании филогенетических данных (Abramson et al., 2012). Находки этого вида на Дальнем Востоке известны, по крайней мере, с позднего плейстоцена, а в настоящий момент красно-серая полёвка является многочисленным видом на этой территории (Симонов, 2017). Основным источником информации по истории формирования биоты четвертичного периода на Дальнем Востоке являются рыхлые отложения пещер.

Цель нашего исследования — сопоставление результатов анализа одонтологических характеристик *C. rufocanus* из голоценовых отложений двух пещер Дальнего Востока.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследованы щечные зубы *C. rufocanus* из отложений двух пещер, расположенных на Сихотэ-Алине: пещера Тегюхинская (n = 2667 м1) и пещера Медвежий Клык (n = 2495 м1). В обоих местонахождениях красно-серая полёвка была доминирующим видом по сравнению с другими по всей толще отложений.

На основании данных по изучению одонтологических характеристик данное исследование было проведено в двух направлениях: выявление особенностей тафономической структуры пещер и анализ внутривидовой изменчивости красно-серых полевок во времени и пространстве.

В рамках тафономического анализа для оценки степени переотложенности материала были выделены 5 групп прокрашенности первых нижних моляров и проведен анализ соотношения этих групп. Для оценки возрастной структуры был проведен анализ соотношения онтогенетических стадий по методу М.А. Фоминых (2011).

Для оценки внутривидовой изменчивости были проанализированы размерные характеристики $m1$: длина и ширина. Для оценки морфологической изменчивости моляров, использовался ранжированный морфотипический подход, разработанный Е.А. Марковой (2013). Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA 8.0. Коэффициент корреляции Спирмена использовали для оценки взаимосвязи глубины залегания и группы прокрашенности. Сравнительный анализ групп проводили с использованием критерия Краскела-Уоллиса (H) и многофакторного дисперсионного анализа (F).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа соотношения групп прокрашенности $m1$ в отложениях пещеры Тетюхинская на предыдущем этапе исследования было выявлено, что во всех слоях встречены моляры всех групп прокрашенности, однако от верхних слоев к более глубоким наблюдали уменьшение количества белых ($RS = -0.90$; $p < 0.05$) и увеличение количества темных ($RS = 0.42$; $p = 0.02$) $m1$ (Усольцева, Фоминых, 2019). Роющая деятельность обитателей пещеры могла привести к перемешиванию костных остатков на разной глубине отложений. Предположительно, «белые» моляры относятся к голоценовым отложениям, а темные и черные – к позднплейстоценовым, что совпадает с данными по результатам изучения фауны крупных млекопитающим пещеры Тетюхинская (Гасилин, 2013).

В пещере Медвежий Клык изученный материал происходил из перемешанных и не перемешанных слоев (по данным Omelko et al., 2020). Существенных различий в распределении моляров разных групп прокрашенности из разных горизонтов перемешанных и не перемешанных слоев не выявлено. Выявлено уменьшение количества белых ($RS = -0.89$; $p < 0.05$) и увеличение количества темных ($RS = 0.35$; $p < 0.05$) моляров с глубиной отложений.

В результате анализа соотношения онтогенетических стадий $m1$ в отложениях пещеры Тетюхинская было выявлено их сходное распределение во всех изученных шурфах – большинство приходится на 4-ю и 5-ю онтогенетическую стадию и на 8-ю и 9-ю ($H(4, N = 208) = 3.74$; $p < 0.05$) (Усольцева, Фоминых, 2019). Анализ соотношения онтогенетических групп $m1$ из пещеры Медвежий Клык, показал, что во всех

горизонтах значительно преобладает 4-я возрастная стадия ($H(21, N = 1506) = 23.95; p < 0.05$). Моляры на всех остальных стадиях, хоть и в меньшем количестве, но встречены во всех изученных горизонтах.

Для исследования внутривидовой морфологической изменчивости красно-серых полевок были проанализированы размерные характеристики моляров. В результате анализа выявлена возрастная изменчивость: длина и ширина $m1$ увеличиваются с возрастом животного как в пещере Тетюхинская ($F(6, N = 78) = 15.43-89.89; p < 0.01$), так и в пещере Медвежий Клык ($F(6, N = 357) = 74.16-391.86; p < 0.01$).

Показано, что в Тетюхинской пещере моляры из разных горизонтов не имеют различий по длине и ширине коронки ($F(9, N = 69) = 0.45-1.05; p = 0.4-0.9$). В то время как в пещере Медвежий Клык, различия размерных характеристик были значимы ($F(13, N = 357) = 2.35-2.83; p = 0.005-0.006$). Выявлены различия размерных характеристик моляров из трех периодов голоцена (AMS ^{14}C датирование по Omelko et al., 2020) Длина моляров у молодых животных уменьшается от раннего голоцена к среднему ($F = 7.26; p < 0.05$) и не изменяется от среднего – к позднему ($F = 4.64; p > 0.05$), ширина моляров незначимо уменьшается от раннего голоцена к среднему ($F = 0.6; p > 0.05$) и значимо – от среднего голоцена к позднему ($F = 4.96; p < 0.05$).

При сравнении данных по размерным характеристикам из двух изучаемых пещер оказалось, что $m1$ из Тетюхинской пещеры сопоставимы по длине с молярами из отложений позднего голоцена пещеры Медвежий Клык и меньше (на 9-й стадии), чем в среднем и раннем голоцене. Ширина $m1$ *C. rufocanus* из пещеры Тетюхинская меньше, чем в голоценовых отложениях пещеры Медвежий Клык (рис. 1).

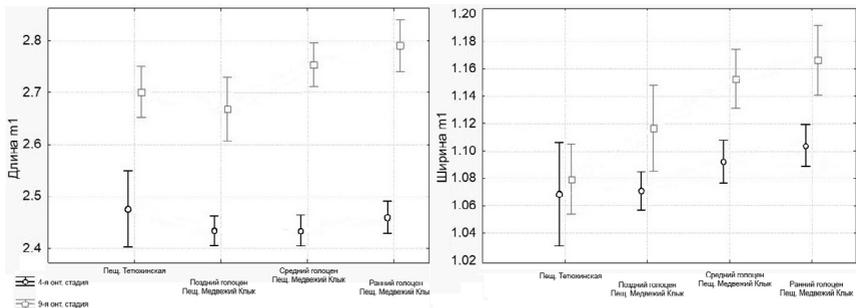


Рис. 1. Средние значения и доверительный интервал показателей длины и ширины $m1$ красно-серых полевок из пещеры Медвежий Клык и пещеры Тетюхинская в разные периоды голоцена ($M \pm SD$).

В рамках исследования внутривидовой изменчивости красно-серых полевок были проанализированы морфотипические характеристики,

в которых рассматривали количество дентиновых призм и их входящих углов. Повышение ранга сложности морфотипа на 1 происходит при формировании дентиновой призмы и соответствующего ей выходящего угла. Для анализа внутривидовой изменчивости красно-серых полевок использовалась дробная шкала выделения морфотипов с шагом 0.25.

При сравнении данных по показателям ранга сложности моляров из двух изучаемых пещер выявлено, что моляры из пещеры Тетюхинская морфотипически более простые, по сравнению с молярами из голоценовых отложений пещеры Медвежий Клык ($F(3.1151) = 3.175$; $p < 0.05$) (рис. 2).

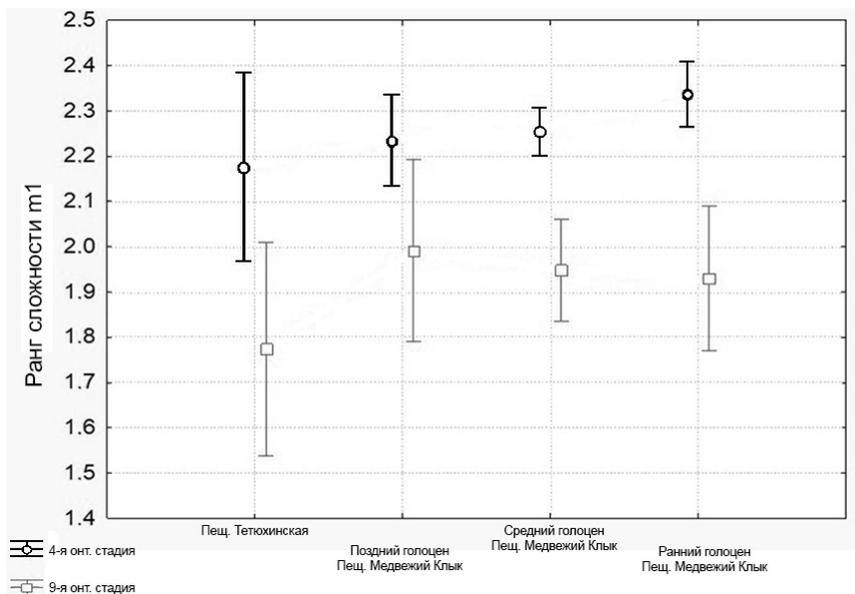


Рис. 2. Средние значения и доверительный интервал показателей сложности $m1$ красно-серых полевок из пещеры Медвежий Клык и пещеры Тетюхинская в разные периоды голоцена ($M \pm SD$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено, что первые нижние моляры *C. rufocanus* из разных групп прокрашенности встречаются во всех отложениях как в пещере Тетюхинская, так и в пещере Медвежий Клык. Это может объясняться процессами переотложения и нарушения слоев (наблюдали в обеих пещерах), а также деятельностью обитателей пещеры (в пещере Тетюхинская). Изменение доли моляров из разных групп прокрашенности от верхних к наиболее глубоким слоям происходит за счёт уменьшения количества белых и увеличения количества темных $m1$.

Показано, что онтогенетические стадии m1 *C. rufocanus* распределены по-разному в изученных местонахождениях. В пещере Тетюхинская большинство моляров встречено на 4-й, 5-й и на 8-й, 9-й онтогенетических стадиях. В пещере Медвежий Клык преобладают моляры на 4-й стадии, в то время как остальные встречены в меньшем количестве. Это может быть связано с разными причинами формирования тафоценозов в этих местонахождениях.

Выявлена тенденция к увеличению линейных размеров и ранга сложности m1 *C. rufocanus* с увеличением глубины отложений в пещере Медвежий Клык. Моляры из отложений пещеры Тетюхинская сопоставимы с m1 из позднеголоценовых отложений пещеры Медвежий Клык по длине, но меньше по ширине и характеризуются более простыми морфотипами. Полученные результаты могут объясняться как разными условиями на протяжении голоцена, так и свидетельствовать в поддержку данных о наличии сложной внутривидовой структуры красно-серой полёвки на юге Дальнего Востока.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность, зав. лаб., д.б.н. А.В. Бородину, к.б.н. Е.А. Марковой, к.б.н. С.В. Зыкову, научному руководителю к.б.н. М.А. Фоминых и моим коллегам из лаборатории филогенетики и биохронологии (Институт экологии растений и животных УрО РАН), к.б.н. Т.В. Струковой из лаборатории палеоэкологии (Институт экологии растений и животных УрО РАН), а также д.б.н. М.П. Тиуну и к.б.н. В.Е. Омелько из лаборатории териологии (ФНЦ Биоразнообразие ДВО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бородин А.В.* История полевок рода *Clethrionomys* Западно–Сибирской низменности // Современное состояние и история животного мира Западно–Сибирской низменности. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 21–31.
- Гасилин В.В., Панасенко В.Е., Васильева Л.Е., Татарников В.А.* Палеофауна из пещеры Тетюхинской (Средний Сихотэ–Алинь) // Динамика современных экосистем в голоцене. Материалы Третьей Всерос. научной конф. Казань: Отечество, 2013. 364 с.
- Маркова Е.А.* Оценка сложности щечных зубов полевок (Arvicolinae, Rodentia): ранжированный морфотипический подход // Зоологический журнал. 2013. Т. 92. №. 8. С. 968–968.
- Симонов П.С.* Влияние природных и антропогенных факторов на распределение грызунов в горных условиях Сихотэ–Алиня (Дальний

- Восток России) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. Т 7. № 3. С.129–137
- Усольцева А.О., Фоминых М.А. Плейстоцен-голоценовые полёвки (Rodentia, Arvicolinae) родов *Clethrionomys* и *Craseomys* Дальнего Востока (на примере пещеры Тетюхинская) // Экология: факты, гипотезы, модели: материалы всерос. конф. молодых ученых. Екатеринбург: Реэкшен, 2019. С. 87–91.
- Фоминых М.А. Изменчивость краниальных и одонтологических признаков лесных полевок (род *Clethrionomys*) Урала: дис...канд. биол. наук. Екатеринбург, 2011. 20 с.
- Abramson N.I., Petrova T.V., Dokuchaev N.E. et al. Phylogeography of the gray red-backed vole *Craseomys rufocanus* (Rodentia: Cricetidae) across the distribution range inferred from nonrecombining molecular markers // Russian Journal of Theriology. 2012. Vol. 11. № 2. P. 137–156.
- Omelko V.E., Kuzmin Y.V., Tiunov M.P. et al. Late pleistocene and holocene small mammal (Lipotyphla, Rodentia, Lagomorpha) remains from medvezhyi klyk cave in the southern russian far east // Proceedings of the Zoological Institute. 2020. Vol. 324. № 1. P. 124–145.

Pachycrocuta brevirostris (Carnivora, Hyaenidae) из раннего плейстоцена Крыма (пещера Таврида)

Д.Р. Хантемиров¹, Д.О. Гимранов², А.В. Лавров³

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

³ Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

Ключевые слова: *Pachycrocuta brevirostris*, Крым, ранний плейстоцен

Гигантская короткомордая гиена *Pachycrocuta brevirostris* (Gervais, 1850) была важной частью фаун раннего и среднего плейстоцена Евразии. Её появление в Европе в начале раннего плейстоцена, называемое в палеофаунистике «*Pachycrocuta event*», является индикатором перестройки фаун крупных млекопитающих того времени (Croitor, Popescu, 2011).

P. brevirostris по размеру тела превосходила всех современных и ископаемых гиен. Большой размер в сочетании с массивными и крепкими зубами делали их хищниками, добыча которых включала как мелких, так и крупных копытных. Таким образом, они занимали особую нишу в сообществах хищников (Turner, Anton, 1996). Их крупный размер, среди консументов второго порядка, определял их лидирующую роль в пищевых пирамидах, подобно современной *Crocuta crocuta* (Erxleben, 1777) в биоценозах Африки.

Цель работы: изучить особенности биологии *Pachycrocuta brevirostris* на примере костных остатков этого вида из пещеры Таврида.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1. На основе опубликованных данных получить представление о географическом распространении *P. brevirostris*;
2. Дать морфологическую характеристику костным находкам гиены из пещеры Таврида;
3. На основе морфометрических данных рассчитать массу и высоту тела гиены;
4. Провести сравнение морфологических особенностей *P. brevirostris* из пещеры Таврида с *P. brevirostris* из других местонахождений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные о распространении *P. brevirostris* взяты из литературных источников (Барышников, Верещагин, 1996; Кожамкулова, 1981; Сотникова, 1989; Kurten, 1972; Liu et al., 2021; Marciszak et al., 2021; Werdelin, 1999). В нашем исследовании были изучены остатки *P. brevirostris* из пещеры Таврида (Крым). Всего изучено 33 зуба и одна бедренная кость. Все костные остатки найдены в одном костеносном слое, возрастом 1.8–1.5 млн. лет (поздний виллафранк, MNQ 18-19) (Лопатин и др., 2019; Вислобокова и др., 2020). Костный материал хранится в Институте экологии растений и животных УрО РАН (колл. № 727) и в Палеонтологическом институте им. А. А. Борисяка РАН (колл. № 5644). Для измерения размеров использовали электронный штангенциркуль с ценой деления 0.01 мм. При характеристике размеров зубов использовали метод построения двумерных графиков. Для сравнительного анализа использовали данные о размерах зубов из следующих местонахождений: Venta Micena в Испании, Sainzelles во Франции, Untermassfeld в Германии, Gombaszog в Словакии, Manastirec в Македонии (Turner, Anton, 1996), Stranska skala в Чехии (Kurten, 1972), Longdan, Longgu, Gigantophitecus cave и Zhoukoudian в Китае (Liu et al., 2021).

Для вычисления массы и высоты тела использовали следующие формулы: $\log_{10}(\text{масса тела}) = 2.72\log_{10}(\text{длина m1}) - 2.03$; $\log_{10}(\text{масса тела}) = 2.92\log_{10}(\text{длина бедренной кости}) - 5.27$; $\log_{10}(\text{масса тела}) = 2.86\log_{10}(\text{длина бедренной кости}) - 5.15$ (Palmqvist et al., 2011); Высота тела = $3.14 \times (\text{длина бедренной кости}) - 12.96$ (Harcourt, 1974).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе литературных данных установлено, что *P. brevirostris* обитала в Евразии от Пиренейского п-ова до о. Ява. Самые северные находки – в Великобритании и Забайкалье. Большинство местонахождений *P. brevirostris* находится в Европе и Китае. В Европе находки сосредоточены на юге континента (Испания, Франция, Италия, Греция). Большая часть из них датирована ранним плейстоценом. *P. brevirostris* также обитала и в раннем плейстоцене Африки.

Морфологические данные. РЗ гиены из Тавриды имеет большие размеры относительно *P. brevirostris* из других местонахождений раннего и среднего плейстоцена Евразии, в то же время Р4 имеет относительно мелкие размеры (рисунок). В морфологии Р4 можно выделить меньший размер парастилия по сравнению с параконом, что считается архаичным признаком (Liu et al., 2021). Нижние премоляры р3 и р4 также имеют размеры типичные для *P. brevirostris*, кроме одного экземпляра

р3, который по размерам превышает все остальные (рисунок). На р2 и р3, отсутствуют передние добавочные бугорки, что является прогрессивным признаком (Sotnikova et al., 2002). Нижний хищнический зуб m1 из пещеры Таврида имеет относительно небольшие размеры. При этом по длине m1 превышает р4 (рис.), что считается архаичным признаком (Sotnikova et al., 2002). На талониде одного из m1 присутствует 2 бугра, один из которых может являться метаконидом, что соответствует примитивному состоянию (Liu et al., 2021). Точно идентифицировать бугры в задней части протокониды m1 у *P. brevirostris* достаточно затруднительно, это требует дополнительные исследований, в том числе молочных зубов.

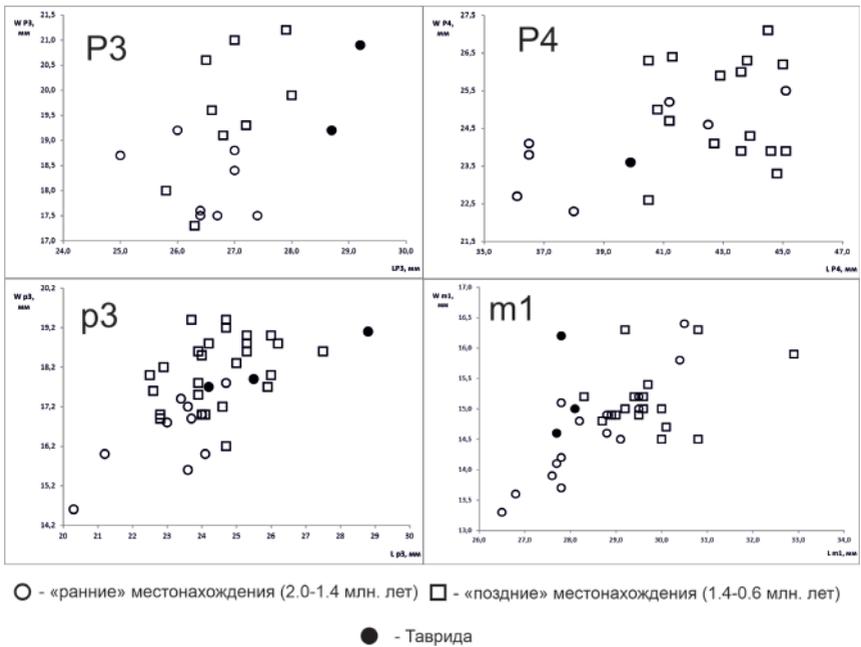


Рисунок. Графики зависимости длины от ширины P3, P4, p3 и m1 *P. brevirostris* из пещеры Тавриды и других местонахождений Евразии.

Средняя вычисленная масса тела *P. brevirostris* из Тавриды составила 80 кг. Это чуть меньше, чем масса *P. brevirostris* из Untermassfeld (Германия), вычисленная тем же методом, она составляет 88 кг (Turner, Anton 1996). Определенная нами высота тела из Тавриды составила 90 см. Реконструированная высота тела *P. brevirostris* из Zhoukoudian (Китай) составляла 86–97 см (Liu et al., 2021).

ВЫВОДЫ

Находки *P. brevirostris* сосредоточены в Европе и Китае. На территории между ними находки редки. Пещера Таврида является самой восточной точкой находок этого вида в Европе. Вычисленные масса и рост тела крымской *P. brevirostris* схожи с показателями других евразийских *P. brevirostris*.

Исследование морфологии *P. brevirostris* из Крыма важно для понимания морфологической изменчивости вида на всем протяжении его огромного ареала. Большие размеры премоляров указывают на прогрессивный характер их изменений у крымских гиен. При этом морфология m1 остается архаичной. Сочетание архаичных и прогрессивных эволюционных признаков у *P. brevirostris* из пещеры Таврида может указывать на её промежуточное положение между ранней и поздней формами короткомордой гиены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вислобокова И.А., Титов В.В., Лавров А.В. Раннеплейстоценовые винторогие антилопы (*Artiodactyla*, *Bovidae*) из пещеры Таврида (Крым, Россия) // Палеонтологический журнал. 2020. № 1. С. 78–88.
- Лопатин А.В., Лавров А.В., Вислобокова И.А. Новое местонахождение позвоночных раннего плейстоцена в пещере Таврида (Крым) // Материалы LXV сессии Палеонтологического общества при РАН (1–5 апреля 2019 г., Санкт-Петербург). Санкт-Петербург: Картография ВСЕГЕИ, 2019. С. 242–243.
- Кожамкулова Б.С. Позднекайнозойские копытные Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1981. 145 с.
- Сотникова М.В. Хищные млекопитающие плиоцена-раннего плейстоцена: стратиграфическое значение. Москва: Наука, 1989. 123 с.
- Croitor R., Popescu A. Large-sized ruminants from the Early Pleistocene of Leu (Oltenia, Romania) with remarks on biogeographical aspects of “*Pachycrocuta* event” // Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. 2011. № 261/3. P. 353–371.
- Harcourt R.A. The Dog in Prehistoric and Early Historic Britain // Journal of Archaeological Science. 1974. № 1. P. 151–175.
- Kurten B. Fossil Hyaenidae from excavations at Stranska skala // Anthropos, Studia Musei Moraviae. 1972. № 20. P. 113–120.
- Liu J., Liu J., Zhang H., Wagner J. The giant short-faced hyena *Pachycrocuta brevirostris* (Mammalia, Carnivora, Hyaenidae) from Northeast Asia: A reinterpretation of subspecies differentiation and intercontinental dispersal // Quaternary International. 2021. № 577. P. 29–51.

- Marciszak A., Semenov Y., Portinski P.* First record of *Pachycrocuta brevirostris* (Gervais, 1850) from Ukraine on the background of the European occurrence of the species // *Journal of Iberian Geology*. 2021. Vol. 47. P. 535–549.
- Palmqvist P., Martínez-Navarro B., Perez-Claros J.A.* The giant hyena *Pachycrocuta brevirostris*: modelling the bone-cracking behavior of an extinct carnivore // *Quaternary International*. 2011. № 243. P. 61–79.
- Sotnikova M., Baigusheva V., Titov V.* Carnivores of the Khapry Faunal Assemblage and Their Stratigraphic Implications // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2002. № 10. P. 375–390.
- Turner A., Anton M.* The giant hyaena, *Pachycrocuta brevirostris* (Mammalia, Carnivora, Hyaenidae) // *Geobios*. 1996. № 29. P. 455–468.
- Werdelin L.* *Pachycrocuta* (hyaenids) from the pliocene of east Africa // *Palaontologische Zeitschrift*. 1999. № 73. P. 157–165.

Оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации нефтезагрязнённых водных сред

А.С. Чердакова, С.В. Гальченко, Н.В. Сарайкина

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань

Ключевые слова: биоремедиация, загрязнение воды нефтепродуктами, гуминовые препараты

Современный этап развития общества охарактеризован постоянно растущими объёмами производства и использования нефтепродуктов в различных отраслях хозяйственной деятельности человека. Данные процессы приводят к загрязнению нефтяными углеводородами всех компонентов окружающей среды, в том числе и природных вод.

Для восстановления нефтезагрязнённых вод в настоящее время применяют различные способы: механические, физико-химические, химические и др. Все они имеют как преимущества, так и недостатки, связанные, в основном, с их высокой стоимостью и рисками вторичного загрязнения компонентов окружающей среды.

Среди перечисленных способов восстановления нефтезагрязнённых сред наиболее приемлемыми, эффективными, экологически безопасными и экономически выгодными являются биологические методы, а именно использование биодеструкторов – микробиологических ремедиаторов, для которых нефтеуглеводороды служат питательной средой (Brown et al., 2017). Но зачастую активность вносимых микроорганизмов ограничивают такие факторы, как высокие уровни загрязнения, низкое содержание элементов питания и т.д. В этой связи возникает необходимость научного поиска способов стимуляции деятельности нефтеокисляющей микрофлоры при биоремедиации загрязнённых вод. По нашему мнению, в данном аспекте весьма перспективны гуминовые вещества и препараты на их основе. Во-первых, гуминовые вещества обладают выраженными поверхностно-активными свойствами, во-вторых, они могут выступать источником элементов минерального питания микроорганизмов и, в-третьих, – положительно влияют на все свойства очищаемых сред, создавая «благоприятные» условия для работы микроорганизмов (Lipczynska-Kochany, 2018).

В этой связи, **целью** наших исследований являлась экспериментальная оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации водных сред, загрязнённых различными нефтепродуктами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили промышленные гуминовые препараты, полученные из различного сырья и по различным технологиям. А именно препарат «Экорост», полученный методом гидродинамической кавитации из торфа, и препараты «Биогумус» и «Гуми», полученные методом щелочной экстракции из компоста и угля соответственно. Предметом исследования выступали наиболее распространённые нефтепродукты-загрязнители водной среды – бензин АИ-95, дизельное топливо и мазут.

Исследования были проведены в условиях лабораторных экспериментов, суть которых заключалась в искусственном моделировании процессов биоремедиации водных сред, загрязнённых различными нефтепродуктами, при совместном использовании микробиодеструкторов и гуминовых препаратов.

В качестве источника нефтеокисляющей микрофлоры применяли микробиодеструктор «Дестройл». Контролем служили загрязнённые нефтепродуктами и обработанные микробиопрепаратом образцы без внесения гуминовых препаратов. Критериями оценки выступали: степень разрушения пленки нефтепродуктов на водной поверхности; изменение концентрации нефтепродуктов в воде. Повторность вариантов в эксперименте – четырехкратная.

На первом этапе исследований была проведена оценка степени диспергирования пленки нефтепродуктов на водной поверхности при совместном использовании гуминовых и микробиопрепаратов. В основу была положена методика, разработанная в НИИ Биологии при Иркутском государственном университете профессором Д.И. Стомом с соавторами (2005) и модифицированная нами. Так, для обработки полученных данных, расчёта длины поверхности капель нефтепродуктов использовали написанную нами компьютерная программа, которая позволяет провести бинаризацию цифровых изображений динамики процессов биодеструкции пленки нефтепродуктов в эксперименте и произвести автоматизированный расчёт длины удельной поверхности капель нефтепродуктов при разрушении их пленки на отдельные элементы.

На следующем этапе исследований проведены эксперименты по оценке изменения концентрации нефтепродуктов в загрязнённых во-

дах при совместном использовании микробиодеструкторов и гуминовых препаратов. Загрязнение водной среды моделировали путем внесения нефтепродуктов в воду в количестве 10 г/л и 20 г/л. В полученные таким образом варианты вносили биопрепарат и гуминовые препараты. Контролем служили образцы без внесения гуминовых препаратов. Срок экспозиции образцов составил 4 месяца. Определение концентрации нефтепродуктов в загрязнённых водах осуществляли методом инфракрасной спектрофотометрии в аккредитованной испытательной лаборатории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе эксперимента результаты варьировали в зависимости от типа вносимого нефтепродукта. Наиболее выражено свои поверхностно-активные свойства гуминовые препараты проявили по отношению к бензину.

Установлено, что применение гуминовых препаратов интенсифицирует процессы диспергирования пленки бензина и позволяет значительно увеличить общую длину границ капель нефтепродукта, и, соответственно, повысить его доступность для биоремедиаторов. Причем наиболее выраженный эффект оказывает препарат «Экорост», полученный из торфа.

На вариантах опыта с модельным загрязнением водной среды дизельным топливом активного протекания процессов диспергирования пленки нефтепродукта не отмечено. Но на вариантах с использованием гуминовых препаратов визуально наблюдали активный рост колоний нефтеокисляющей микрофлоры, ввиду чего к концу эксперимента пленка дизельного топлива была почти полностью утилизирована.

На следующем этапе исследований оценивали влияние гуминовых препаратов на процессы биодеструкции нефтепродуктов. Полученные результаты позволили установить, что интенсивность процессов биодеструкции различных нефтепродуктов в водной среде при совместном внесении гуминовых и микробиологических препаратов зависит как от свойств непосредственно самих нефтепродуктов, так и от характеристик вносимых гуминовых препаратов (рис.).

Выявлено, что на всех вариантах эксперимента с дизельным топливом процесс биоремедиации протекал достаточно активно. Так, к концу эксперимента на контрольных образцах было утилизировано более 70% загрязнителя. При этом отмечено некоторое стимулирование деятельности ремедиаторов при внесении гуминовых препаратов. Максимальный положительный эффект оказывал препарат «Гуми», использование которого способствовало увеличению степени биодеструкции дизельного топлива в водной среде более чем на 10%.

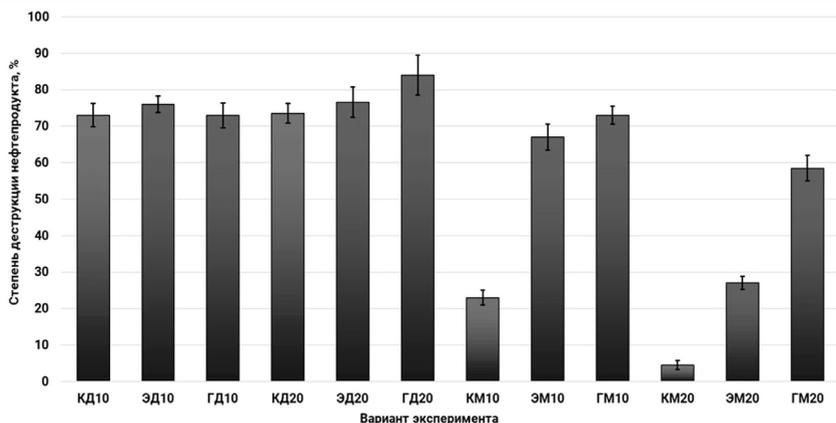


Рис. Средняя степень биодеструкции нефтепродуктов в эксперименте. КД10 – дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» (контроль), КД20 – дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» (контроль), ЭД10 – дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Экорост», ЭД20 – дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Экорост», ГД10 – дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Гуми», ГД20 – дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Гуми», КМ10 – дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» (контроль), КМ20 – дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» (контроль), ЭМ10 – дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Экорост», ЭМ20 – дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Экорост», ГМ10 – дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Гуми», ГМ20 – дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» + 0.01% р-р «Гуми».

При загрязнении вод мазутом процессы его биоремедиации, напротив, протекали крайне медленно и степень биодеструкции нефтепродукта на контрольных вариантах эксперимента не превышала 25%. Но внесение гуминовых препаратов способствовало значительному увеличению активности ремедиаторов и повышению эффективности биоутилизации загрязнителя более чем на 50%. Наиболее выраженный результат отмечен при внесении препарата «Гуми», полученного из угля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований выявлено проявление гуминовыми препаратами поверхностно-активных свойств по отношению к некоторым нефтепродуктам, что способствует их интенсивному диспергированию в водной среде в процессе биоремедиации.

В отношении стимуляции биодеструкции нефтепродуктов легких и средних фракций (бензин и дизельное топливо) в водной среде более эффективны гуминовые препараты, полученные из торфа. На процессы биоутилизации нефтепродуктов тяжелых фракций (мазут) в воде максимальный положительный эффект оказывают препараты, выделенные из угля.

Полученные результаты указывают на возможность совместного использования нефтеокисляющей микрофлоры и гуминовых препаратов в целях биоремедиации водных сред, загрязнённых различными нефтепродуктами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Стом Д.И., Казаринов С.В., Балаян А.Э.* Действие препаратов гуминовых веществ и нефтеокисляющих микроорганизмов на состояние капель углеводородов // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАН. 2005. № 6 (44). С. 166–168.
- Brown L. D., Gee K.F., Cologgi D.L., Ulrich A.C.* Bioremediation of Oil Spills on Land // Oil Spill Science and Technology. New York: Wiley, 2017. P. 699–729
- Lipczynska-Kochany E.* Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil // Chemosphere. 2018. Vol. 202. P. 420–437.

Проблемы молекулярно-генетической идентификации видов *Phlojodicarpus* (Ариáceе)

А.Д. Чикурова¹, О.Е. Валуйских², Д.М. Шадрин²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Ключевые слова: *Phlojodicarpus*, ДНК-штрихкодирование, ITS, *trnH-psbA*

В роде *Phlojodicarpus* выделяют три вида – *P. villosus* (Turcz. ex Fisch. & C.A. Mey.) Ledeb., *P. sibiricus* (Fisch. ex Spreng.) Koso-Pol. и *P. komarovii* Gogovoj, произрастающие преимущественно в России и имеющие общие области распространения (Пименов, Остроумова, 2012). Перечисленные виды *Phlojodicarpus* сложны в определении. Так, у *P. villosus* отличительным видовым признаком является опушение на зонтиках, зонтичках и листочках оберток, а у *P. komarovii* листочки оберточек так же покрыты волосками, но редкими и мягкими. Некоторые ключевые морфологические признаки (например, опушение) могут быть очень изменчивыми и не позволяют уверенно разграничивать виды *Phlojodicarpus*, особенно в местах перекрывания их ареалов.

Виды *Phlojodicarpus* практически не изучены с точки зрения молекулярной систематики. Согласно молекулярным классификациям по ITS1/ITS2 род *Phlojodicarpus* (представленный в работах видом *P. porovii* Sipliv. – синоним *P. sibiricus* var. *baicalensis* Serg.) близок к таксонам *Ferulopsis*, *Seseli*, *Libanotis* трибы *Selineae* (Downie et al., 2010; Banasiak et al., 2013). Сведения о нуклеотидных последовательностях для других представителей рода *Phlojodicarpus* и по другим маркерам в генетических базах данных нами не обнаружены.

Цель работы: получение последовательностей фрагмента хлоропластной ДНК *trnH-psbA* и внутреннего транскрибируемого спейсера ядерной ДНК ITS1/ITS2 для видов *P. villosus* и *P. sibiricus*, и оценке их межвидового полиморфизма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом служили гербарные образцы *P. villosus* из Республики Коми (СΥКО-PV-17614, сборы А.Н. Лавренко, З.Г. Улле, Н.П. Серди-

това, 2.08.1990 г., Северный Урал, г. Янывондерсяхал) и Магаданской обл. (SYKO-PV-17613, сборы А.П. Хохрякова, 18.07.1973, Колымское нагорье) и *P. sibiricus* из Забайкальского края (SYKO-PV-17634, сборы В. Сукачева, Г. Поплавской, 19.07.1911, окр. г. Нерчинск; SYKO-PV-17633, сборы Г. Стукова, 25.06.1907, окр. г. Чита). Последовательность для *P. poroii* заимствована из GenBank (№ AF008604.1, AF009083.1).

Тотальную ДНК выделяли из высушенных листьев с помощью набора «DNeasy Plant Mini Kit» (Qiagen, Germany), в соответствии с инструкциями производителя. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) фрагментов проводили в 50 мкл смеси, содержащей 10 мкл ScreenMix (Евроген, Россия), 10 мкл каждого праймера (0.3 мкМ) (Евроген, Россия), 18 мкл ddH₂O (Ambion, США) и 2 мкл ДНК-матрицы (1/100 нг). Последовательности фрагмента *trnH-psbA* амплифицированы с использованием праймеров *trnH2* и *psbAF* (Tate, Simpson, 2003), фрагмента ITS 2 с использованием праймеров ITS5 и ITS4 (Baldwin, 1995). Термоциклирование включало предварительную денатурацию в течение пяти минут при температуре 95 °С и далее 35 циклов, включающих: денатурацию в течение 60 с при температуре 95 °С, отжиг праймеров в течение 30 с при температуре 60 °С (для *trnH-psbA*) и 55 °С (для ITS2) и элонгацию в течение 40 с при температуре 72 °С, с окончательной элонгацией в течение 5 минут при температуре 72 °С. Выделение ДНК, ПЦР и секвенирование проводили с использованием оборудования ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар. Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили с применением алгоритма ClustalW в программе Mega X (Thompson et al., 1994; Kumar et al., 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Матрица данных для нуклеотидной последовательности *trnH-psbA* включала – 189–198 пар нуклеотидов, для последовательности ITS1/ITS2 – 406 пар нуклеотидов.

При сравнении последовательностей *trnH-psbA* образцов *P. villosus* из республики Коми (Северный Урал) и Магаданской обл. (Колымское нагорье) обнаружено шесть переменных позиций. При сравнении последовательности *P. sibiricus* из Забайкальского края с *P. villosus* с Северного Урала обнаружено также шесть переменных позиций, а с *P. villosus* с Колымского нагорья пять переменных позиций. В трёх позициях выявлены *trnH-psbA* однонуклеотидные делеции, а именно в позиции 85 для образца *P. villosus* с Северного Урала, в позиции 154 для *P. sibiricus* и в положении 164 для образцов *P. villosus* с Северного

Урала и Колымского нагорья (табл. 1). Из таблицы 1 также видно, что образец *P. villosus* с Северного Урала и образец *P. sibiricus* в сравнении с образцом *P. villosus* с Колымского нагорья оба имеют инсерцию в положении 155–163, отличающуюся между собой лишь одним нуклеотидом в позиции 155 (Т/С). В целом при сравнении последовательностей *trnH-psbA* образцов *P. villosus* с Северного Урала и Колымского нагорья, а также образца *P. sibiricus* с Забайкальского края, установлено наличие не только межвидового, но и внутривидового полиморфизма данной последовательности.

Таблица 1. Полиморфные нуклеотидные позиции для участков *trnH-psbA* для *P. villosus* и *P. sibiricus*

Образец/Позиция в регионе	Регион <i>trnH-psbA</i>							
	54	81	85	103	154	155-163	164	165
	Точковая мутация	Точковая мутация	Однонуклеотидная делеция	Точковая мутация	Однонуклеотидная делеция	Инсерция	Однонуклеотидная делеция	Точковая мутация
<i>P. villosus</i> SYKO-PV-17614, Республика Коми	С	Г	–	Т	Т	+*	–	С
<i>P. villosus</i> SYKO-PV-17613, Магаданская область	Т	Т	С	Г	Т	–	–	А
<i>P. sibiricus</i> SYKO-PV-17634, Забайкальский край	С	Г	С	Г	–	+**	А	А

Примечание. * – ТСТТТААТА, ** – ССТТТААТА

Сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей ITS1/ITS2, полученных нами для образцов *P. villosus* с Северного Урала и Колымского нагорья, двух образцов *P. sibiricus* с Забайкальского края, а также близкого вида *P. porovii*, взятого из GenBank, позволил выявить несколько вариабельных позиций. Образцы *P. villosus* отличаются

от *P. popovii* и *P. sibiricus* заменами в положении 110 Т/А и в положении 389 С/А (табл. 2). Показано, что в последовательности ITS1/ITS2 у образца *P. villosus* с Колымского нагорья присутствует пять гибридных пиков, по сравнению с одним пиком у образца с Северного Урала. Это может указывать на присутствие в геноме рДНК разного происхождения, а не одного из родителей (Матейкович и др., 2020). Так как *P. popovii* (*P. sibiricus* var. *baikalensis*) является подвидом *P. sibiricus*, последовательности данных образцов схожи, и они несколько отличаются от последовательностей *P. villosus*.

Таблица 2. Полиморфные нуклеотидные позиции для участков ITS1/2 для *P. villosus* и *P. sibiricus*

Образец	Регион ITS1+ITS2/ Позиция в регионе						
	66	110	187	305	327	389	408
<i>P. villosus</i> SYKO-PV-17614, Республика Коми	С	Т	Н	С	Г	С	Г
<i>P. villosus</i> SYKO-PV-17613, Магаданская область	У	Т	Н	У	Р	С	Р
<i>P. sibiricus</i> , SYKO-PV-17634, Забайкальский край	С	А	С	С	Г	А	А
<i>P. sibiricus</i> , SYKO-PV-17633, Забайкальский край	С	А	С	С	Г	А	А
<i>P. popovii</i> AF008604.1, AF009083.1	С	А	С	С	Г	А	А

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы получены нуклеотидные последовательности *trnH-psbA* для двух образцов *P. villosus* и одного образца *P. sibiricus*, а также последовательности ITS1/ITS2 для двух образцов *P. villosus* и двух образцов *P. sibiricus*. В результате сравнения последовательностей *trnH-psbA* видов *P. villosus* и *P. sibiricus* удалось обнаружить как межвидовой, так и высокий внутривидовой полиморфизм, выражающийся в наличии точечных замен, однонуклеотидных делеций и инсерций. Полиморфизм последовательностей ITS1/ITS2 проявляется в присутствии двух замен у образцов *P. villosus* по сравнению с образцами *P. sibiricus* и *P. popovii*. Выявленный полиморфизм последовательностей *P. villosus* оправдывает более пристальное изучение таксонов рода *Phlojodicarpus* с использованием молекулярно-генетических методов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми (проект № 20-44-110011) в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лавренко А.Н., Улле З.Г., Сердитов Н.П. Флора Печоро-Илычского биосферного заповедника. СПб.: Наука, 1995. 256 с.
- Матейкович П.А., Пунина Е.О., Копылов-Гуськов Ю.О. и др. Последовательности ITS1-5.8S рДНК-ITS2 и trnL-trnF как маркеры при изучении видового разнообразия ковылей Алтая // Генетика. 2020. Т. 56. № 4. С. 408–420.
- Пименов М.Г., Остроумова Т.А. Зонтичные (Umbelliferae) России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 477 с.
- BOLD Systems 2021. Published on the Internet. URL: <http://www.boldsystems.org/> (accessed March 2021).
- Banasiak L., Piwczynski M. Dispersal patterns in space and time: a case study of Apiaceae subfamily Apioideae // Journal of Biogeography. 2013. Vol. 40. № 7. P. 1324–1335.
- Downie S.R., Spalik K., Katz-Downie D.S., Reduron J.-P. Major clades within Apiaceae subfamily Apioideae as inferred by phylogenetic analysis of nrDNA ITS sequences // Plant Diversity and Evolution. 2010. Vol. 128. № 1–2. P. 111–136.
- Downie S., Plunkett G., Watson M., Plunkett G.M. Tribes and clades within Apiaceae subfamily Apioideae: The contribution of molecular data // Edinburgh Journal of Botany. 2001. Vol. 58. № 2. P. 301–330.
- Kumar S., Stecher G. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Across Computing Platforms // Molecular Biology and Evolution. 2018. Vol. 35. № 6. P. 1547–1549.
- NCBI (2021) National Center for Biotechnology Information. Published on the Internet. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (accessed March 2021).
- Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J. CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice // Nucleic Acids Research. 1994. Vol. 22. № 22. P. 4673–4680.

Предварительные особенности зимовки водяной ночницы, *Myotis daubentonii* в штольнях Ленинградской области

Е.А. Щеховский

Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: водяная ночница, зимовка, условия, микроклимат, штольни

Выявление специфических предпочтений определенных видов рукокрылых, остающихся на зимовку в штольнях, обладающих различными условиями температуры и влажности, вызывает интерес у многих исследователей, а полученные данные позволяют лучше понять предпочтения к зимовочным местообитаниям у летучих мышей (Чащин, 1965, 1978; Попов, Ковалев, 2010; Kovalyov, 2017; Пасикова, 2018; Белкин и др., 2019; Щеховский, Кустикова, 2020). Многие из них занесены в Красные книги различных субъектов Российской Федерации, и изучение этого вопроса позволит разработать мероприятия по улучшению состояния зимовочных местообитаний для рукокрылых и дать природоохранные рекомендации по поддержанию и сохранению фауны рукокрылых во время периода зимовок, когда летучие мыши наиболее уязвимы. В связи с тем, что количество зимовок ограничено, полученные данные будут играть важную роль при подготовке рекомендаций.

В качестве модельного объекта был выбран вид – водяная ночница, *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817). Данный вид многочислен и часто встречается как по всей территории Ленинградской обл., так и в черте г. Санкт-Петербург (Ковалев, Щеховский, 2014; Щеховский, 2015), а также на всех зимовках в штольнях Ленинградской области.

Цель работы – оценка состояние и особенности условий зимовки группировки водяных ночниц в период с осени 2020 до весны 2021 гг. в штольнях Ленинградской обл. В качестве **задач** были поставлены учёт численности особей данного вида в каждой из штолен, проведение анализа соотношения к другим зимующим видам и изучение особенностей зимовки внутри штолен.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование было проведено на зимовках во всех известных заброшенных штольнях Ленинградской области, бывших выработках по добыче кварцевого песка, с осени 2020 по весну 2021 г. В ходе работ были исследованы комплексы Саблинских, Староладожских, Борщевских, Ребровских и Корповских штолен. Обследование штолен было произведено однократно в период проведения исследования. Данную работу проводили в рамках ежегодного мониторинга численности рукокрылых на зимовках в штольнях Ленинградской обл. Работа проводилась компактной группой с привлечением волонтеров. Для ориентирования внутри подземных лабиринтов использовали карты, составленные ЛСП в 2000-х гг. Учёт особей проводился бесконтактным способом – методом визуального определения внутри каждой из штолен, чтобы снизить фактор беспокойства для спящих животных. Все виды летучих мышей, остающихся на зимовку, хорошо идентифицируются по внешним признакам. Внутри штолен проводились замеры высот от спящего зверька до пола и от потолка до пола в этом же месте при помощи пятиметровой рулетки и лазерного дальномера «Instrumax sniper 30». Данные замеры проводили с целью понимания предпочтения выбора высоты для зимовки внутри штолен. В ходе полевых работ фиксировали характер зимовки особей – одиночный или групповой, и месторасположения – открыто на стенках или в различных микроукрытиях (трещины, щели, полочки, отслоения и т.п.). Измерения микроклимата – температуры и влажности – были проведены с использованием термогигрометра «ТКА-ПКМ». Замеры микроклимата были проведены по градиенту от входа к дальним частям штолен. Количество замеров варьировало от 5 до 20 в зависимости от конфигурации штолен. Наиболее интересные находки фиксировались на фотоаппарат для дальнейшей интерпретации в ходе камеральных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было обнаружено 552 особи водяной ночницы. Они были встречены в 15 из 18 обследованных штолен. Наибольшее количество особей водяной ночницы было встречено в комплексе Староладожских штолен, а именно в Танечкиной пещере – 380. Наибольшее превалирование в численности водяных ночниц среди других видов отмечено в Корповской и Ребровских штольнях, где они составляют три четверти от общей численности зимующих особей в данных штольнях. В Саблинских штольнях процент водяных ночниц составляет только 6.6% от общего числа обнаруженных зверьков. В этих штольнях преобладает другой вид – ночница Наттерера, *Myotis nattereri* (Kuhl, 1817) (рис. 1).

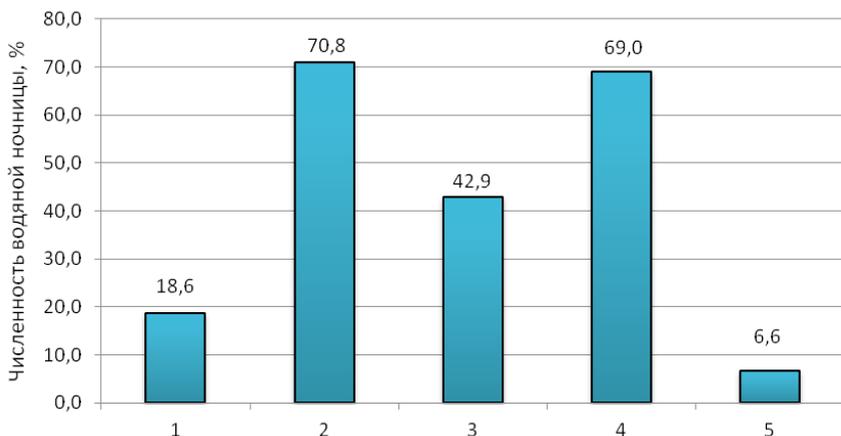


Рис. 1. Соотношение численности водяных ночниц к общей численности зимующих рукокрылых в штольне в каждой группе штолен в период зимовки 2020–2021 гг. Штольни: 1 – Староладожские; 2 – Ребровские; 3 – Борщевские; 4 – Корповская; 5 – Саблинские.

Кроме этого, было зафиксировано, что водяные ночницы зимуют обособленно друг от друга, предпочитая проводить зимовку одиночно и открыто на поверхности стен и потолка. Менее 10% всех водяных ночниц используют трещины, полочки, щели, отслоения породы в качестве убежищ в период зимовки. Они не образуют массовых скоплений и групп до нескольких десятков как прудовые ночницы, *Myotis dasycneme* (Voie, 1825), ночницы Брандта, *Myotis brandtii* (Eversmann, 1845) или ночницы Наттерера, *Myotis nattereri* (Kuhl, 1817) в Староладожских и Саблинских штольнях соответственно. Лишь изредка в штольнях, где встречаются данные виды, водяные ночницы способны образовывать группы, где одна-две особи водяной ночницы группируются с другими из вышеперечисленных видов.

По результатам учёта численности рукокрылых на зимовках было обнаружено, что 69.2% всех зимующих особей водяной ночницы в штольнях Ленинградской области зафиксированы в комплексе Староладожских штолен, что составляет 10.4% от всех зимующих в штольнях особей рукокрылых региона (рис. 2).

Исследуемый вид ночниц предпочитает выбирать зимовочные места внутри штолен на удалении от входов, где отсутствуют воздушные потоки. Особи данного вида были обнаружены при значениях температуры от 3.6 до 10.9 °С и влажности 66.7–100% (таблица). Условия микроклимата штолен повышаются при продвижении в глубину ходов.

Протяжённость штолен варьировала как от группы штолен, так и внутри каждой из них. Саблинские штольни имеют длину от 17 м

(Лисья нора 1) до 6500 м (Левобережная) с разветвленной сетью туннелей. Староладожские штольни варьируют от Староладожской – 410 м до Танечкиной – 5500 м с подземным озером, изменяющим свои размеры в зависимости от времени года. Более мелкие штольни имеют следующие размеры: Ребровские – от 240 до 507 м, Борщевские – от 390 до 420 м, Корповская – 400 м (Kovalyov, 2017). Высоты варьируют от одной штольни к другой ввиду их естественного разрушения и деятельности туристов, которые откапывают, расширяют или закладывают проходы. Высоты могут колебаться от 50 до 905 см.

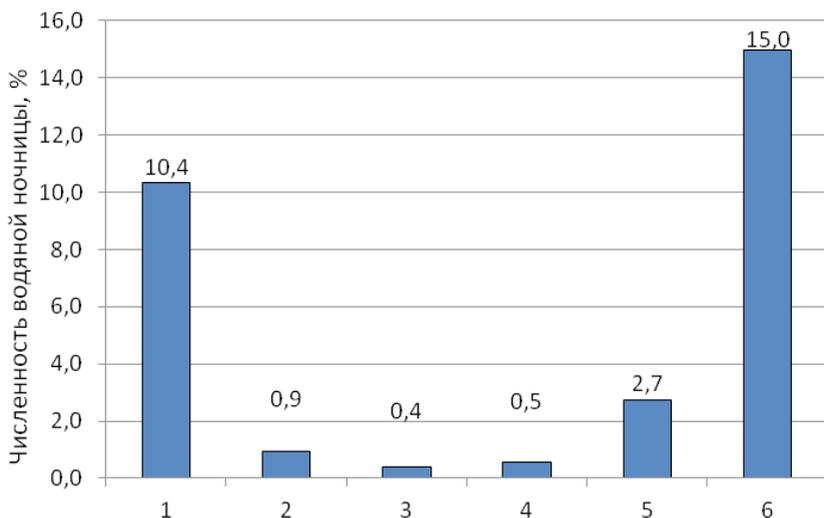


Рис. 2. Соотношение численности водяных ночниц к общей численности зимующих рукокрылых Ленинградской области в каждой группе штолен в период зимовки 2020–2021 гг. Штольни: 1 – Староладожские; 2 – Ребровские, 3 – Борщевские, 4 – Корповская, 5 – Саблинские; 6 – общая численность.

Таблица. Характеристика условий зимовки водяной ночницы в штольнях Ленинградской обл.

Штольни	Температура, °С	Влажность, %
Саблинские	4.2–9.1	67–100
Староладожские	6.0–10.9	74–100
Ребровские	4.0–9.2	67–100
Борщевские	3.6–9.8	84–100
Корповская	6.9–8.8	74–100

Что касается высот, на которых были зафиксированы спящие водяные ночницы, то большая часть – 84% обнаруженных особей проводила зимовку на высотах более 150 см. В большинстве данных случаев высота обнаружения ограничивалась высотой потолка, поэтому большинство находок было сделано на потолке. Максимальная высота зимовки прудовой ночницы отмечена в одном из залов штольни «Готическая», относящейся к Боршевским штольням, и составляет 584 см от пола из возможных 905 см. Минимальная высота зимовки 87 см из возможных 100 см была зафиксирована в штольне «Жемчужная», относящейся к Саблинским штольням. При этом данный вид предпочитает зимовать на отдалении от входов в пещеры в отличие от более холодоустойчивых видов, таких как бурый ушан, *Plecotus auritus* (Linnaeus, 1758) и северный кожанок, *Eptesicus nilssonii* (Keyserling, Blasius, 1839).

Проанализировав численность водяных ночниц к общей численности рукокрылых на зимовках, можно говорить о значительной роли отдельных групп штолен для зимовки данного вида. К такой группе относятся Староладожские штольни, где проводит зимовку их большая часть. В этих штольнях зафиксированы самые высокие температуры – до 10.9 °С.

В большинстве случаев водяные ночницы предпочитают зимовать одиночно, хотя было выявлено, что они образуют группы с другими видами, массово преобладающими на зимовках. Подобные группировки были отмечены в штольнях, где на зимовку оставались все известные зимующие виды в пределах Ленинградской обл.

Высота, на которой были обнаружены спящие зверьки, варьировала в зависимости от высоты штреков и залов, а также от интенсивности посещения штолен туристами т.к. в наиболее частых местах прохода людей летучие мыши отсутствовали. Дело в том, что при проходе штреков посетители часто сбивают низко висящих на стенах и потолке спящих зверьков. Также высота зимовки летучих мышей зависит от их недоступности для хищников. Лисы, куньи, крысы часто навдываются в штольни в поисках пропитания. Об этом свидетельствуют обнаруженные многочисленные следы этих животных и обглоданные трупы рукокрылых, на что также указывают некоторые авторы (Чистяков, Никулин, 2010). Помимо этого в местах стоянок туристов из-за шума, разведения костров летучие мыши тоже отсутствовали.

ВЫВОДЫ

Число зимующих особей водяной ночницы, *Myotis daubentonii* составляет 15% от всех рукокрылых, которые используют в качестве зимовки различные штольни Ленинградской обл. Из них наибольшая

численность водяных ночниц обнаружена в Танечкиной пещере комплекса Староладожских штолен, где проводят зимовку 380 особей.

Водяные ночницы встречены внутри штолен в температурном диапазоне от 3.6 до 10.9 °С и влажности от 66.7 до 100%.

Зимовку большинство представителей данного вида предпочитают проводить одиночно, иногда образуя комплексные группы с другими массовыми зимующими видами – прудовыми ночницами, *Myotis dasycneme* (Voie, 1825), ночницами Брандта, *Myotis brandtii* (Eversmann, 1845) и ночницами Наттерера, *Myotis nattereri*. Большинство особей предпочитает зимовать открыто на стенах и потолке, используя в редких случаях (менее 10% находок) различные микроукрытия.

55.6% всех водяных ночниц предпочитают проводить зимовку на высотах от 150 до 199 см от пола, где они были недоступны для хищников. Остальные особи зимующих водяных ночниц были встречены как на более низких высотах – от 0 до 149 см – 15.8%, так и более высоких – от 200 до 905 см – 28.6%. Главную роль в этом играла высота штрека – при повышении высоты прохода особи водяной ночницы занимали более высокое расположение. Наибольшая численность особей данного вида отмечена в удаленных залах, меньше всего посещаемых людьми.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность коллегам – Д.И. Абдульмановой, Д.А. Коляде, А.В. Щеховскому, Н.Е. Щеховской, Р.И. Багаутдинову, Д.М. Быкову, которые помогли в сборе материала в ходе обследования штолен в зимнее время. Отдельная благодарность Н.А. Натальину и коллективу сотрудников ЛООО «Сохранение природы и культурного наследия» за помощь в проведении учёта в штольне «Левобережная».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белкин В.В., Илюха В.А., Хижкин Е.А. и др. Изучение фауны летучих мышей (Mammalia, Chiroptera) в Зеленом поясе Фенноскандии // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 5. С 17–29.
- Ковалев Д.Н., Щеховский Е.А. Предварительная оценка численности водяных ночниц, *Myotis daubentonii* Ленинградской области и Санкт-Петербурга по данным летних учётов // Сохранение природной среды и оптимизация её использования в Балтийском регионе. Материалы IX Международной экологической Школы-конференции. СПб.:Издательство «ВВМ», 2014. С. 236–241.

- Пасикова М.В. Особенности полового состава водяной ночницы (*Myotis Daubentonii*) в пещере «Археологическая» // Постулат. 2018. № 12. С. 1–3.
- Попов И.Ю., Ковалев Д.Н. Обстоятельства долгожительства летучих мышей (в связи с материалами исследований на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области) // Успехи геронтологии. 2010. Т. 23. № 2. С. 179–185.
- Чащин С.П. Изучение фауны пещер Пермской области // Пещеры. 1965. С. 172–173.
- Чащин С.П., Панарина Г.Н., Тиунов М.П. Летучие мыши в пещерах Пермского Прикамья // Пещеры. 1978. № 17. С. 103–108.
- Чистяков Д.В., Никулин А.Д. Влияние антропогенного фактора на состояние зимовок рукокрылых Ленинградской области. // Спелеология и спелестология: развитие и взаимодействие наук: материалы международной научно-практической конференции. Наб.Челны: НГПИ, 2010. С. 320–322.
- Щеховский Е.А. Летучие мыши в городской среде // Рациональное использование природных ресурсов и проблемы сохранения биоразнообразия. Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2015. С. 193–198.
- Kovalyov D.N. Hibernacula of *Myotis* bats in artificial caves in the Leningrad Region // Russian Journal of Theriology. 2017. Vol. 16. № 1. С. 94–109.

Генетическая идентификация редкого вида рода *Rhododendron*

Д.Р. Юнусова, М.А. Полежаева

Институт экологии растений и животных УрО РАН г. Екатеринбург

Ключевые слова: *Rhododendron adamsii*, *Rhododendron parvifolium*,
TabCD, *trnH-psbA*, *xnДНК*

Rhododendron adamsii Rehd. – высокогорный кустарник, красно-книжный вид, произрастающий в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (Александрова, 1975). Специфичность условий произрастания (факультативная кальцефилия), медленный рост, а также неконтролируемый сбор в качестве пищевого и лекарственного сырья – все это угрожает существованию некоторых популяций вида. Особенно высокая антропогенная нагрузка отмечена в прибайкальских районах, где объёмы заготовок возросли в коммерческих целях. В том же регионе произрастает морфологически близкий вид *Rhododendron parvifolium* Adams, не используемый в качестве сырья. В данной работе мы представляем результаты по подбору видоспецифического для *R. adamsii* генетического маркера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве маркеров были протестированы некодирующие регионы хлоропластной ДНК, которые ранее использовались для баркодинга (Soininen et al., 2009) и изучения рододендронов (Jiang et al., 2016). В анализ включены образцы трех популяций *R. adamsii* из прибайкальского региона (Бурятия, Саян, Аршан). А также популяция *R. parvifolium* из Бурятии. Всего 36 образцов. ДНК выделяли по стандартному протоколу для растительных тканей (СТАВ-метод) (Devey et al., 1996). Для амплификации использовали пары универсальных праймеров к межгенным спейсерам или интронам: 3 фрагмента из региона между генами *trnT-trnF* по Таберлету – TabAB, TabCD, TabEF (Taberlet et al., 1991), *trnK-matK* (Johnson, Soltis, 1995), *psbC-trnS* (Demesure, Sodzi, Petit, 1995), *trnF-trnVr* (Dumolin-Lapegue, Pemonge, Petit, 1997), *trnG-trnS*, *psbA-trnH* – HA (Hamilton, 1999). Для прямого секвенирования на генетическом анализаторе ABI 3130 (Applied

Biosystems, USA) были отобраны образцы со стабильной амплификацией. Выравнивание полученных нуклеотидных последовательностей проводили вручную в программе BioEdit (Hall, 1999). Филогенетическое дерево для всех образцов построено с использованием байесовского анализа в программе MrBayes v. 3.1.2 (Ronquist, Huelsenbeck, 2003) на основе модели нуклеотидных замен GTR + G + I. В качестве внешней группы был использован образец *Rhododendron camtschaticum* Pall.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ нуклеотидных последовательностей выявил три мутации во фрагменте TabAB, две в TabEF, одну в SG, четыре в FV, пять в TabCD, семь в HA. Остальные фрагменты были неизменчивыми. Наиболее информативными оказались TabCD и HA. Длина объединенной последовательности по двум фрагментам составила 755 пар оснований (TabCD 1-387; *trnH-psbA* 388 -755). На филогенетическом древе (рисунок) образцы разных видов сгруппированы в соответствии с таксономической принадлежностью с высокой статистической поддержкой (PPvalue 1.00). Оба маркера хлоропластной ДНК – TabCD и HA можно рекомендовать для видовой идентификации *R. adamsii*.

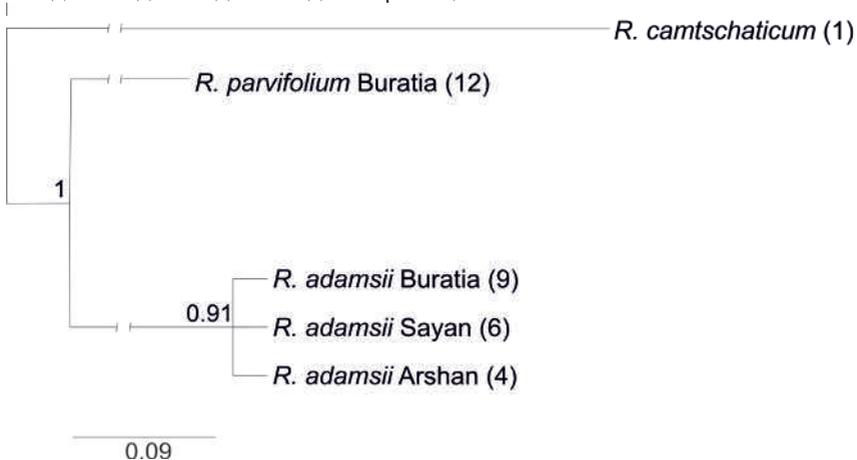


Рис. Филогенетическое дерево изученных выборок, построенное байесовским методом. В качестве внешней группы использован образец *Rhododendron camtschaticum*. В скобках указано количество особей в выборке.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа (сбор образцов) выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, проведение молекулярно-генетического анализа поддержано грантом РФФИ № 20-04-00417.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова М.С.* Рододендроны природной флоры СССР. М.: Наука, 1975. 112 с.
- Demesure B., Sodzi N., Petit R.J.* A set of universal primers for amplification of polymorphic non-coding regions of mitochondrial and chloroplast DNA in plants // *Molecular Ecology*. 1995. Vol. 4. P. 129–134.
- Devey M.E., Bell J.C., Smith D.N.* et al. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD and microsatellite markers // *Theoretical and Applied Genetics*. 1996. Vol. 92. P. 673–679.
- Dumolin-Lapegue S., Pemonge M.-H., Petit R.J.* An enlarged set of consensus primers for the study of organelle DNA in plants // *Molecular Ecology*. 1997. Vol. 6. P. 393–397.
- Hall T.A.* Bioedit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // *Nucleic Acids Symposium Series*. 1999. Vol. 41. P. 95–98.
- Hamilton M.B.* Four primer pairs for the amplification of chloroplast intergenic regions with intraspecific variation // *Molecular Ecology*. 1999. Vol. 8. P. 521–523.
- Jiang N., Man L., Zhang W.* et al. Chloroplast view of the population genetics and phylogeography of a widely distributed shrub species, *Rhododendron dauricum* (Ericaceae) // *Systematic Botany*. 2016. Vol. 41. № 3. P. 626–633.
- Johnson L.A., Soltis D.E.* Phylogenetic inference in Saxifragaceae sensu stricto and Gilia (Polemoniaceae) using matK sequences // *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1995. Vol. 82. P. 149–175.
- Ronquist F., Huelsenbeck J.P.* MrBAYES 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models // *Bioinformatics*. 2003. Vol. 19. № 12. P. 1572–1574.
- Soiminen E.M., Valentini A., Coissac E.* et al. Analysing diet of small herbivores: the efficiency of DNA barcoding coupled with high-throughput pyrosequencing for deciphering the composition of complex plant mixtures // *Frontiers in zoology*. 2009. Vol. 6. № 1. P. 1–9.
- Taberlet P.T., Geilly L., Patou G., Bouvet J.* Universal primers for amplification of three noncoding regions of chloroplast DNA // *Plant Molecular Biology*. 1991. Vol. 17. P. 1105–1109.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие к изданию</i>	3
Сосудистые растения в гербарном фонде Тобольской комплексной научной станции <i>В.Р. Аллаярова</i>	5
Распространение <i>Brasenia schreberi</i> (Cabombaceae) в Приморском крае <i>А.С. Бердасова</i>	6
Изменчивость реликтового вида <i>Caragana jubata</i> по данным хлоропластной ДНК <i>В.А. Бессонова</i>	8
Макрозообентос старичных озёр поймы р. Буй (Республика Башкортостан) <i>Е.А. Бобкова</i>	13
Проверка избирательности и погрешности бутылочного метода оценки обилия мелких млекопитающих <i>А.С. Будимиров</i>	17
Особенности стирания резцов у пещерных медведей (<i>Ursus spelaeus sensu lato</i>) Урала <i>С.В. Вольская, Д.О. Гимранов</i>	22
Динамика палеотемператур, реконструированных по данным палинологического анализа, в голоцене на Урале <i>А.Т. Галимов</i>	28
Морфо-экологическое сравнение озёрных и речных форм сига-пыжьяна <i>Coregonus lavaretus pidschian</i> (Gmelin, 1788) бассейна р. Байдаратаяхи <i>Л.С. Горбунов</i>	34
Кормовые запасы тундровых сообществ полуострова Ямал в нижнем течении р. Еркутаяха <i>А.М. Горбунова</i>	38
Сравнение эффективности отлова мелких млекопитающих двумя моделями давилок с крючком <i>А.В. Горшколелова</i>	43

Песенная активность некоторых представителей птиц лесостепной зоны <i>С.В. Грачёв</i>	46
Микробиологический анализ состояния озёр с высокой антропогенной нагрузкой <i>Е.В. Девятова, С.В. Андреева, Ю.Ю. Филиппова, Д.Ю. Нохрин</i>	49
Особенности выделения и идентификации крахмальных зёрен в семенах некоторых представителей сем. Fabaceae <i>А.С. Дёмина, В.А. Калинкина</i>	59
Стабильные изотопы углерода и азота в костях позднеплейстоценовых лошадей Западной Сибири <i>Ю.Э. Дружинина, Н.А. Пластеева</i>	61
Трансформация светового режима в зарослях инвазивного <i>Acer negundo</i> L. <i>Д.И. Дубровин</i>	65
Оптимизация условия выращивания сульфатвосстанавливающих бактерий для решения проблем очистки загрязнённых вод <i>К.К. Климов, К.Д. Высотин, М.А. Безматерных</i>	74
Анализ полиморфизма ITS-последовательностей <i>Lagotis uralensis</i> и <i>L. minor</i> (Plantaginaceae) <i>К.А. Коваленко, Д.М. Шадрин, О.Е. Валуйских</i>	78
Фауна млекопитающих из местонахождения Искорское) <i>К.Ю. Коновалова</i>	82
К совершенствованию неинвазивной методики оценки обилия мелких млекопитающих в городской среде <i>Е.И. Куваева</i>	86
Видовой состав и распределение мохообразных в градиенте тундра-лес горного массива Иремель на Южном Урале <i>К.А. Лёзова</i>	90

Пищевая специализация цикадовых (Hemiptera: Cicadina) дендро- и тамнобионтов по материалам, собранным на ООПТ Алтая <i>Е.Ю. Майорова</i>	97
Строение корней растений, преобладающих на разных этапах сукцессии на золоотвалах ВТГРЭС <i>А.В. Малахеева, Д.Е. Тукова, С.А. Черепанов</i>	102
Особенности пространственно-онтогенетической структуры популяций парнолистника перистого (<i>Zygophyllaceae</i>) <i>А.Л. Мартынова</i>	107
Почвенный банк семян лесных экосистем в районе Карабашского медеплавильного комбината <i>Д.А. Молчанова</i>	112
Биоиндикация загрязнения р. Узгинка (Якшур-Бодьинский район Удмуртской республики) по организмам макрозообентоса <i>И.А. Мухин</i>	117
Распространение малого пещерного медведя (<i>U. ex gr. savini-rossicus</i>) на Урале <i>М.В. Павлова, Д.О. Гимранов, О.Г. Нанова, П.А. Косищев</i>	121
Генетическая структура представителей родов <i>Alnus</i> и <i>Ulmus</i> в крым- ско-кавказском регионе <i>К.А. Паниковская, С.А. Семерикова</i>	127
Конструирование видоспецифичных праймеров для амплификации гена цитохрома <i>b</i> мтДНК мыши-малютки (<i>Micromys minutus</i> Pallas, 1771) <i>Д.С. Пилевич, М.А. Крохалева</i>	130
Водные вытяжки из листьев инвазивного <i>Acer negundo</i> не подавляют прорастание семян больше, чем вытяжки из листьев местных видов <i>О.С. Рафикова</i>	135
Отношения стабильных изотопов свинца в современных поверхностных отложениях урбанизированной территории как индикатор экологических и геохимических процессов <i>Н.А. Реутова, А.А. Селезнев</i>	146

Методические подходы к изучению радиоуглерода жидкосцинтилляционным методом <i>З.Б. Сержанова, А.М. Раимжанова</i>	151
Коллекция редких видов рода <i>Iris</i> L. Ботанического сада-института ДВО РАН <i>Н.В. Столетова, Л.Н. Миронова</i>	158
Сокращение площадей горных тундр на разных типах границ леса (г. Дальний Таганай, НП «Таганай») <i>М.В. Терентьева</i>	160
Строение корней осок из местообитаний с разной степенью увлажнения и разных экоморф <i>Д.Е. Тукова</i>	166
Одонтологические характеристики <i>Craseomys rufocanus</i> из голоценовых отложений пещер Дальнего Востока <i>А.О. Усольцева</i>	171
<i>Pachycrocuta brevirostris</i> (Carnivora, Nyaenidae) из раннего плейстоцена Крыма (пещера Таврида) <i>Д.Р. Хантемиров, Д.О. Гимранов, А.В. Лавров</i>	177
Оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации нефтезагрязнённых водных сред <i>А.С. Чердакова, С.В. Гальченко, Н.В. Сарайкина</i>	182
Проблемы молекулярно-генетической идентификации видов <i>Phlojodicarpus</i> (Ariaceae) <i>А.Д. Чикурова, О.Е. Валуйских, Д.М. Шадрин</i>	187
Предварительные особенности зимовки водяной ночницы, <i>Myotis</i> <i>daubentonii</i> в штольнях Ленинградской области <i>Е.А. Щеховский</i>	192
Генетическая идентификация редкого вида рода <i>Rhododendron</i> <i>Д.Р. Юнусова, М.А. Полежаева</i>	199

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ: ФАКТЫ, ГИПОТЕЗЫ, МОДЕЛИ

Материалы конференции молодых ученых

Редакторы:
С.Ю. Соковнина
А.Н. Созонтов
Д.К. Диярова
Ю.В. Городилова
М.М. Девяшин
С.А. Семерикова
Г.Ю. Смирнов
Н.С. Шималина

Вёрстка и обложка:
А.Н. Созонтов

Подписано в печать 29.10.2021 г.

Формат 60×90^{1/16}
Гарнитура PetersburgС
Печать офсетная
Печатных листов 12,88

Тираж 100 экз.
Заказ 14753

Отпечатано в Рекламном агентстве Reaction
г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 77 литер X, офис 402.

2021

Институт экологии растений и животных УрО РАН



ФАКТЫ, ГИПОТЕЗЫ, МОДЕЛИ



ЭКОЛОГИЯ

ЭКОЛОГИЯ:
ФАКТЫ,
ГИПОТЕЗЫ,
МОДЕЛИ

МАТЕРИАЛЫ
Всероссийской
конференции
молодых
ученых

Екатеринбург
2021