IV Всероссийская (XIX) молодёжная
научная школа-конференция

МОЛОДЁЖЬ И НАУКА НА СЕВЕРЕ – 2022

Материалы докладов

Том 2

Сыктывкар 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр
Уральского отделения Российской академии наук»
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения РАН

IV ВСЕРОССИЙСКАЯ (XIX) МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА НА СЕВЕРЕ – 2022»

XXIX ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ», посвященная 60-летию Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

21–25 марта 2022 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Материалы докладов
по направлению «Биологические науки»

ТОМ II

Сыктывкар
2022

УДК 001(063):055(02)7
DOI 10.19110/89606-043

IV Всероссийская (XIX) молодежная научная школа-конференция «Молодежь и наука на Севере – 2022». В 2-х томах. Том II. Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов XXIX Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 60-летию Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН / Отв. редактор С.В. Дёгтева. Сыктывкар, 2022. 208 с.

Представлены материалы докладов XXIX Всероссийской молодежной научной конференции, проведенной Институтом биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Рассмотрены актуальные вопросы изучения и восстановления биоразнообразия животного и растительного мира, структурно-функциональной организации и экологии биологических систем, охраны и рационального использования биологических ресурсов. Обсуждены лесобиологические проблемы, проблемы почвоведения, физиологии, биохимии и биотехнологии растений, радиобиологии, продолжительности жизни и генетики.

Proceedings of the 4rd all-Russian 19th youth scientific school-conference «Youth and science in the North – 2022». In 2 volumes. Vol. 2. Proceedings of the 29th all-Russian youth scientific conference «Pressing issues in biology and ecology», dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences / Chief editor S.V. Degteva. Syktyvkar, 2022, 208 p.

The collection presents proceedings of the 29th All-Russian youth scientific conference «Pressing issues in biology and ecology» held at the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. During the conference the topical issues of studying and restoring the biodiversity of flora and fauna, structural and functional organization and ecology of biological systems, protection and rational use of biological resources were considered. And also the biological problems of the forest, the problems of soil science, physiology, biochemistry and biotechnology of plants, radiobiology, life expectancy and genetics were discussed.

Редколлегия:

чл.-корр. РАН С.В. Дёгтева (отв. редактор),
к.б.н. М.А. Батурина, к.б.н. И.О. Велегжанинов, к.б.н. И.В. Далькэ,
к.б.н. Ю.А. Дубровский, д.б.н. С.В. Загирова, д.г.н. Д.А. Каверин, к.б.н. О.И. Кулакова,
к.б.н. Е.М. Лаптева, к.б.н. Е.Н. Патова, к.б.н. Б.Ю. Тетерюк, к.б.н. И.Ф. Чадин

© ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022
© Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....9

1 СЕКЦИЯ

Н.А. Аветисян. Фитосозологическая оценка памятника природы регионального значения Самарской области «Нефтяной овраг» 11

К.Ю. Атанова. Фитосозологическая оценка памятника природы регионального значения Самарской области «Гора Высокая» 13

Д.А. Батина, В.Н. Ильина. К анализу флоры лесов Красноярского лесхоза (Самарская область) 15

А.И. Зуева, А.Г. Зуев. Исследование грибных сообществ, ассоциированных с беспозвоночными центральной тайги (заповедник Кивач, Республика Карелия) методом количественной ПЦР (qPCR).....17

И.Н. Кутявин. Современная динамика пожарной активности в лесах средней тайги на примере Комсомольского лесничества Республики Коми 19

А.П. Малуша, Н.В. Зуева. Оценка экологического состояния рек Субарктики с использованием характеристик их растительного покрова 21

Т.А. Мыльникова, В.В. Елсаков. Динамика лесных фитоценозов как индикатор климатических изменений на территории национального парка «Югыд ва» 23

М.А. Неудахина. Морфологические особенности ряда видов рода *Staurastrum* Meyen Ex Ralfs.....25

А.А. Панюков. Таксономическая структура флоры водоемов выработанных глиняных карьеров юга Республики Коми 28

Е.В. Панюкова, Н.А. Маклакова. Продуктивность осоковых сообществ малых водохранилищ таежной зоны Республики Коми 31

Д.С. Пятаева, В.Н. Ильина. К анализу флоры долины реки Безенчук (Самарская область).....33

Е.С. Турушкова. Экологические последствия пожара 2021 года на территории Бузулукского бора (Самарская область).....35

2 СЕКЦИЯ

С.Д. Блинов. Мезофауна залежных и лесных почв в условиях южной тайги Красноярского края.....37

М.В. Бурмагин, А.П. Новосёлов, О.В. Аксёнова, А.В. Кондаков, И.В. Вихрев. Биологические параметры сиговых рыб в озерах бассейна р. Амгуэма (восточная Чукотка).....39

М.А. Голубев, А.С. Бакашкина, Е.Б. Фефилова, М.А. Батурина, И.О. Велегжанинов. Фауна веслоногих ракообразных (Copepoda) и малощетинковых червей (Oligochaeta) рек Вычегодского бассейна в местах сброса сточных вод: состав, особенности морфологии и баркодирование видов 41

С.А. Ермолов, С.В. Шеховцов. Дождевые черви (Oligochaeta, Lumbricidae) лесостепного приобья Новосибирской области: биотопическое распределение, комплексы жизненных форм, полиморфизм.....43

А.Г. Зуев. Какие беспозвоночные питаются мицелием микоризных грибов в хвойном лесу? Полевой эксперимент 45

А.В. Кизик, Н.А. Веселова, С.А. Хлюпин. Стимулирование сезонных изменений активности у малого толстого лори в Московском зоопарке 47

А.С. Комарова, О.Л. Розанова, А.С. Голубцов, Б.А. Лёвин. Разделение трофических ресурсов у карповых рыб со скребущим фенотипом при адаптивной радиации (на примере рода *Labeobarbus*).....49

А.В. Лукин. Состав и биотопическое распределение чешуекрылых дендро- и тамнофиллофагов южных районов средней тайги (на примере окрестностей с. Ыб).....51

А.В. Мазеева, О.И. Кулакова. Структура населения булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) разнотравно-злаковых лугов подзоны южной тайги Кировской области.....55

В.А. Новиков, Д.Н. Рожкова. Апробация метода аллель-специфической ПЦР для выявления однонуклеотидных полиморфизмов у балобана (*Falco Cherrug* Grey, 1834) и кречета (*Falco Rusticolus* l., 1758).....58

А.А. Полушкин. Особенности распределения поселений *Castor fiber pohlei* на территории заказника «Верхне-Кондинский».....60

Е.И. Попова, Е.Б. Фефилова, Е.С. Кочанова, И.О. Велегжанинов. Молекулярно-генетические исследования байкальской гарпактикоиды Harpacticella inopinata Sars (Harpacticoida, Copepoda, Crustacea).....63

В.А. Пушница, Е.М. Долинская, М.А. Теплых, С.А. Бирицкая, Я.К. Ермолаева, Л.Б. Бухаева, А.И. Охолина, Д.И. Голубец, А.В. Лавникова, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов. Потребление кислородав светлое и темное время суток озёрной рыбой Phoxinus (Eupallasella) Percnurus (Pallas, 1814) 65

А.А. Фатеева. Почвенные микроартроподы на пасеках в первый год после рубки леса.....67

3 СЕКЦИЯ

Л.А. Вахрушев, В.Н. Карманов, Е.В. Попов, А.А. Дымов. Следы деятельности первобытного человека в подзолах иллювиально-железистых (стоянка Эньты IA, окрестности г. Сыктывкар) 70

Э.А. Генрих, Е.М. Перминова, Е.М. Лаптева. Влияние парцеллярной структуры среднетаежных еловых сообществ на свойства органогенных горизонтов подзолистых почв 72

Н.Г. Глушков. Дистанционный мониторинг состояния сосновых древостоев в рекреационных зонах г. Красноярска.....75

Н.М. Горбач, В.В. Старцев, А.С. Прокушкин, А.А. Дымов. Влияние температуры горения лесных подстилок на кислотность, удельную электропроводность и содержание водорастворимых форм углерода и азота 79

Е.Д. Гундерина, Р.С. Василевич. Исследование процесса гумификации отходов деревоперерабатывающей промышленности.....81

Е.С. Дин, С.С. Быховец, Н.В. Иванова, А.М. Портнов, П.В. Фролов, В.Н. Шанин, М.П. Шашков. Сравнение различных методов наземного картографирования древостоев 83

В.Н. Иванова. Обзор влияния многовидового лесовосстановления на запас углерода в почвах.....86

Е.М. Илюшкова, М.В. Тихонова, Я.С. Жигалева, А.В. Бузылёв. Оценка экосистемных сервисов и органического вещества в различных вариантах мезорельефа в лесной экосистеме города.....88

О.Л. Комиссарова, О.Е. Денисова, Ф.С. Егоров, Т.А. Парамонова. Оценка сезонной динамики запасов и структуры биомассы в агроценозах черноземной зоны Тульской области 91

М.А. Королёв. Аминокислотный состав пептидов почв Полярного Урала на карбонатных породах (на примере северной части хребта Большой Пайпудынский).....94

О.С. Кубик. Состав низкомолекулярных компонентов почв прибрежной зоны Баренцева моря 97

А.И. Кузнецова, А.В. Горнов, М.В. Горнова, Д.Н. Тебенькова, А.Д. Никитина. Оценка поступления углерода с атмосферными выпадениями и миграции с почвенными водами в доминирующих лесах Брянского Полесья 100

А.С. Кузьмина, А.А. Ершова, И.Н. Макеева. Исследование наличия микропластиковых частиц в донных отложениях морей российской Арктики 101

Е.Е. Малышкина, И.В. Пахоруков. Характеристика техногенно засоленных аллювиальных почв долины р. Черная 104

А.А. Митина. Особенности молекулярных параметров гуминовых кислот эвтрофного торфяного месторождения 106

С.Ю. Моченов, Г.Г. Суворов, Д.В. Ильясов, Л.А. Кривенок, А.В. Маркина, М.В. Чистотин, Л.А. Поздняков, А.Д. Шангина, А.А. Сирин. Оценка потоков парниковых газов (CO_2 и CH_4) из используемых и брошенных осушенных торфяных почв в Московской области 109

И.В. Паюсова, И.В. Груздев, В.В. Старцев, А.А. Дымов. Методика определения бензолполикарбоновых кислот на примере торфяной почвы в окрестностях национального парка «Койгородский» 111

К.М. Перевышина. Оценка биологической активности почв острова Валаам 113

К.А. Плотникова. Характеристика грибных диаспор твердых атмосферных выпадений на территории урбоэкосистемы 114

А.М. Портнов, В.Н. Шанин, Н.В. Иванова, М.П. Шашков. Опыт использования аэрофотосъемки для изучения пространственной структуры древостоев малонарушенных широколиственных лесов 116

Е.Е. Расова, Е.С. Белых, Е.Н. Мелехина, И.О. Велегжанинов, Д.В. Тарабукин, А.Н. Зиновьева. Оценка эффективности разных способов рекультивации нефтяных загрязнений в условиях Крайнего Севера на основе метабаркодинга почв.....118

Д.А. Севергина, В.В. Старцев, И.Н. Кутявин, Н.М. Горбач, А.А. Дымов. Влияние числа проходов форвардера на глубину колеи и плотность почв 121

Д.А. Семенов, Е.Ю. Воякина, Л.Е. Дмитричева. Сравнительная характеристика почв, расположенных на различных участках водосборной площади озера Никоновское (Валаамский архипелаг) 123

Е.А. Скребенков, Е.Ю. Кряжева. Содержание свинца в почвах города Ухта.....125

М.Т. Спыну, М.В. Тихонова, Е.Б. Таллер, А.В. Степанов. Экологическая оценка динамики потоков CO_2 и N_2O на городских почвах территории экологического стационара РГАУ-МСХА 128

А.В. Уляшев, Ю.В. Холопов, С.В. Денева, О.В. Шахтарова, Е.М. Лаптева, Р.В. Семяшкин. Разнообразие почв восточной части национального парка «Койгородский» 130

С.В. Федотов, Е.Е. Малышкина, Н.В. Митракова. Изучение влияния натриево-хлоридного засоления дерново-подзолистых почв Пермского края методом фитотестирования 132

А.С. Чердакова, С.В. Гальченко, Н.В. Сарайкина.
Биоремедиация загрязненных мазутом почв с использованием гуминовых препаратов 134

4 СЕКЦИЯ

Д.А. Голубев, М.В. Шапошников, А.А. Москалев.
Влияние экстракта ягод барбариса обыкновенного (*Berberis vulgaris* L.)
на продолжительность жизни и стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster* 138

А.В. Ермакова, И.О. Велегжанинов. Влияние ионизирующего излучения в малых дозах
на пролиферативный потенциал ФЛЭЧ-104 *in vitro* 141

Л.А. Коваль, Д.В. Яковлева, Д.А. Голубев, А.А. Москалев. Эффекты компонентов цикла Кребса
на жизнеспособность *Drosophila melanogaster* 144

Д.В. Кукумань, Д.А. Голубев, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев.
Влияние экстрактов ягод *Vaccinium uliginosum* L. и *Empetrum nigrum* SSP. *hermaphroditum* L.
на показатели приспособленности *Drosophila melanogaster* 150

Г.В. Моргунова. Модель хронологического/«стационарного» старения культур клеток
млекопитающих для поиска и тестирования геропротекторов 152

Я.Р. Орунова, Е.В. Болотник, О.Н. Антосюк. Универсальность протекторных свойств
Prunella grandiflora L. относительно воздействия различных противоопухолевых препаратов
на примере *Drosophila melanogaster* 154

Н.Р. Пакшина, Д.В. Яковлева, М.В. Шапошников, Е.Н. Прошкина, А.А. Москалев.
Геропротекторные эффекты активации Dicer у *Drosophila melanogaster meigen* 156

Е.Е. Расова, И.О. Велегжанинов, Т.К. Рочева, И.С. Худяева, Д.В. Белых.
Оценка антиоксидантной активности химически модифицированных природных порфиринов
и порфиринатов меди(II) и серебра(II) на их основе на модели клеток Hela.....158

А.В. Рыбак, Т.А. Майстренко. Дифференциация иммунокомпетентных клеток *Eisenia fetida*
при различных режимах радиационного воздействия 161

А.Р. Сайфутдинова, В.В. Костенко. Анализ выживаемости *Drosophila melanogaster*
при воздействии микрочастиц полиэтелентерефтала 163

А.В. Санникова, М.Р. Шарипова, Е.В. Шакиров, Л.Р. Валеева. Бриофиты как новые модельные
организмы для изучения биологии теломер растений 165

В.С. Симакова. Влияние возрастающих концентраций шампуня «Без парабенов.
Протеины пшеницы» марки «Чистая линия» на кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) сорта «Данский»...167

Н.С. Уляшева, Е.Н. Прошкина, М.В. Шапошников, А.А. Москалев. Влияние веществ,
регулирующих эпигенетические процессы, на устойчивость *Drosophila melanogaster*
к γ-облучению.....169

К.М. Фабушева, О.С. Аксёненко, С.В. Гончаров. Сравнительный анализ уровня
повреждений ДНК в клетках костного мозга мышевидных грызунов,
обитающих на участках с разным уровнем радиационного загрязнения.....171

Д.В. Яковлева, М.В. Шапошников, А.А. Москалев. Геропротекторные свойства β-кариофиллена
на модели *Drosophila melanogaster* 173

5 СЕКЦИЯ

Е.В. Бережная, О.И. Грабельных, Н.В. Дорофеев, Е.А. Полякова. Влияние фунгицидов азоксистробина и тебуконазола на устойчивость мембран клеток озимой пшеницы к действию низких температур.....176

А.А. Игнатенко, Е.С. Холопцева, Н.М. Казнина. Влияние обработки салициловой кислотой на устойчивость и семенную продуктивность ячменя в условиях дефицита цинка в субстрате 178

В.В. Мартынов. Перспективы биотехнологического получения мицелия и мицелиально-субстратных комплексов ксилотрофных базидиомицетов в качестве источников биологически активных соединений.....180

Д.А. Никитин. Сравнительная характеристика почвенного микробиома архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля 184

П.Н. Николаев, О.А. Юсова. Особенности формирования качества зерна овса в условиях южной лесостепи Западной Сибири.....186

П.Н. Николаев, О.А. Юсова. Особенности формирования качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири.....189

В.С. Паршуков, И.В. Новаковская, О.В. Дымова. Изменения пигментного состава зеленой микроводоросли *Chloromonas reticulata* при адаптации к освещенности и низкой температуре.....191

Д.А. Полосухина, А.С. Прокушкин, А.В. Махныкина, С.В. Незнаева. Фотоассимиляция углерода мохово-лишайниковым ярусом среднетаежных лесов Красноярского края 194

Е.А. Полякова, О.А. Федотова, О.И. Грабельных, Е.В. Бережная. Окисление экзогенного НАД(Ф)Н митохондриями яровой пшеницы: зависимость от высокой температуры и тканеспецифичность 196

А.А. Серкова, Т.В. Тарелкина, Д.С. Иванова, Л.И. Семенова. Структурные адаптации проводящей флоэмы подроста *Picea abies* (L.) H. Karst. после сплошной рубки древостоя 198

Е.В. Силина, М.В. Кырнышева, Е.В. Гармаш. Влияние повышенной освещенности на метаболизм аскорбата в растениях Arabidopsis thaliana с разным уровнем экспрессии AOX-1A 200

Н.В. Туманик, Д.Е. Семин, В.Б. Придача. Влияние фитоценотических условий на формирование пигментного комплекса хвои сосны обыкновенной в условиях Южной Карелии.....203

А.Б. Петровский, А.Н. Решетников. Современное состояние и проблемы сохранения герпетофауны Москвы.....205

ПЛЕНАРНАЯ

Н.В. Земская, А.А. Москалев. Взаимосвязь продолжительности жизни и показателей жизнеспособности видов рода *Drosophila* 207

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXIX Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила на базе Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН с 21 по 25 марта 2022 г. как направление «Биологические науки» в рамках IV Всероссийской (XIX) молодежной научной школы-конференции «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА НА СЕВЕРЕ – 2022».

Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, специалистов, участвующих в научно-исследовательской работе в областях биологии и экологии. Конференция проводилась в очном формате с возможностью онлайн участия. Основной целью конференции являлось создание условий для общения молодых учёных, обмена опытом с именитыми коллегами, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих научных работ в кругу квалифицированных специалистов. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Совет молодых ученых Института биологии при поддержке администрации ФИЦ и Института биологии.

Традиционно в работе конференции научная программа включала пять секций: «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» (9 докладов), «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» (14 докладов), «Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем» (30 докладов), «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (17 докладов), «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (11 докладов).

На конференции прозвучало 86 докладов, в том числе пять пленарных. В работе конференции приняли участие молодые ученые и специалисты, студенты и аспиранты из 36 организаций, 20 городов, 18 регионов РФ и Республики Беларусь. Всего участвовало 204 исследователя с соавторами: 23 доклада было представлено студентами, 14 докладов сделали аспиранты, 26 выступлений научных сотрудников и 23 – молодых специалистов. Среди докладчиков – один доктор наук и 11 кандидатов наук разных специальностей. Большое число докладов представили молодые ученые, аспиранты, студенты и специалисты из научных, образовательных и иных учреждений Сыктывкара (30 докладов): Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина, Центра лабораторного анализа и технических измерений по Республике Коми, Всероссийского центра карантина растений по Республике Коми.

Остальные участники представляли широкий спектр научных, образовательных и других организаций: «Всероссийский научно-исследовательский институт Экология» (г. Москва), Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (г. Обнинск), Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. Б.М. Житкова (г. Киров), Вятский колледж профессиональных технологий, управления и сервиса (г. Киров), Государственный аграрный университет Северного Зауралья (г. Тюмень), Естественнонаучный институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь), Зоологический институт РАН (г. Санкт-Петербург), Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (п. Борок), Институт биологии ФИЦ КарНЦ (г. Петрозаводск), Институт леса ФИЦ КарНЦ (г. Петрозаводск), Институт лесоведения РАН (п/о Успенское), Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (г. Москва), Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси (г. Гомель), Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино), Институт экологии и географии Сибирского федерального университета (г. Красноярск), Институт леса им. В.Н. Сукачева (г. Красноярск), Иркутский государственный университет (г. Иркутск), Ка-

занский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Омский аграрный научный центр (г. Омск), Почвенный институт им. В.В. Докучаева (г. Москва), Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева (г. Москва), Российский государственный гидрометеорологический университет (г. Санкт-Петербург), Российский университет дружбы народов (г. Москва), Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара), Сибирский государственный медицинский университет (г. Томск), Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск), Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), Томский государственный университет (г. Томск), Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Ухтинский государственный технический университет (г. Ухта), ФИЦ «Комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН» (г. Архангельск), Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (г. Москва).

Оргкомитет конференции и оценочные комиссии секций подчеркнули высокий научный уровень и практическую направленность многих работ, а также расширение спектра исследований с использованием специализированного оборудования и современных методик. Программа конференции выполнена в полном объеме. Следует выделить закономерное увеличение числа докладчиков благодаря смешанному формату проведения конференции. На онлайн выступления участников пришлось больше половины от общего числа докладчиков. Участники отметили актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов, высокий уровень организации и проведения конференции.

Организаторы выражают благодарность руководству Института биологии за всестороннюю помощь в реализации рабочей среды конференции. Благодарим пленарных докладчиков: Наталью Михайловну Сухих, Полину Юрьевну Волкову, Николая Ильича Филиппова, Андрея Фёдоровича Осипова и Надежду Владимировну Земскую.

Данный сборник выпущен по итогам работы конференции, в него вошли доклады, сделанные участниками. При издании материалов конференции проведено техническое редактирование присланных материалов. Сущность научных текстов не изменена. Ответственность за научное содержание материалов несут авторы.

1 СЕКЦИЯ

ФИТОСОЗОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ «НЕФТЯНОЙ ОВРАГ»

Н.А. Аветисян

Самарский государственный социально-педагогический университет
E-mail: avetisyan.v@sgspu.ru

Памятники природы регионального значения – это одна из форм особо охраняемых природных территорий. От других ООПТ они отличаются небольшими размерами. Основной их задачей является сохранение природных комплексов и объектов в их естественном состоянии. Они выполняют важную роль: их роль рефугиумов биоты и ценотического разнообразия неоспорима (Саксонов, 2007; Ильина, Митрошенкова, 2014а,б; Рогов, Ильина, 2020). Можно сказать, что памятники природы представляют собой уникальные, невосполнимые, ценные в экологическом, научном, культурном и эстетическом отношениях природные комплексы, а также объекты естественного и искусственного происхождения, для которых установлен режим особой охраны. Нефтяной овраг, как памятник природы, представляет несомненный научный интерес.

Автором в 2021 г. проведено изучение растительного покрова комплексного памятника природы регионального значения Самарской области «Нефтяной овраг». Нефтяной овраг расположен на территории Сергиевского района. Он представляет собой овражно-балочную систему с пересыхающим водотоком, который врезается в отрог Бугульминско-Белебеевской возвышенности, своим устьем выходит в долину р. Шунгут (является притоком реки), примерно в десяти километрах от с. Старое Якушкино.

Целью исследования является изучение современного состояния почвенно-растительного комплекса. Достижение указанной цели осуществлялось путем решения следующих задач: выявить и определить состав флоры; провести сравнительный анализ местности в различных временных рамках; исследовать природные особенности ООПТ; провести фитосозологическую оценку территории.

Юго-западный лесостепной склон оврага покрыт группировками разнотравно-типчаково-ковыльной степи, на некоторых участках встречаются петрофитные степи, по бровке оврага размещаются лесные ценозы из широколиственных пород деревьев: дуба, клена остролистного, березы.

На данной территории найдены глобулярия точечная, тонконог жестколистный, занесенные в Красную книгу Самарской области (2017) и Красную книгу РФ, а также ценные редкие виды – астрагал волжский, пырей плевеловидный, тюльпан дубравный, рябчик русский, истод сибирский, клаусия солнцелюбивая, бедренец камнеломковый, астрагал камнеломковый, кровохлебка лекарственная, зверобой продырявленный, репешок обыкновенный, герань луговая и другие представители.

Источником загрязнения воздуха, воды и почвы служит транспорт, автотрасса проходит в нескольких километрах от оврага. На территории оврага замечены следы от колёс личного транспорта. Влияние заводов и фабрик минимальное, больших производственных комплексов в окрестностях нет. Замусоривания и стихийных свалок на данной территории не отмечено.

Согласно критериев, разработанных для осуществления фитосозологической оценки памятников природы (Казанцев, Саксонов, 2015; Кузьмина, Ильина, 2020), Нефтяной овраг имеет следующие характеристики: I – степень изученности растительного покрова: средне из-

учен (3); II – демонстрационное (эталонное) значение: среднее (4); III – площадь памятника природы: до 100 га (6 баллов); IV – антропотолерантность растительного покрова: средняя (8); V – ценотическое разнообразие: три типа растительности (10); VI – общая численность видового разнообразия: до 200 видов (18); VII – число видов, занесенных в Красную книгу РФ и Самарской области: от 6 до 10 видов (14); VIII – степень трансформированности: сильно трансформирован (8); IX – восстановительный потенциал: удовлетворительный – 18.

По проведенной фитосозологической оценке сумма баллов равна 89. Это свидетельствует об удовлетворительном состоянии природного комплекса в рейтинге объектов Самарской области. Несмотря на современный низкий уровень хозяйственного и рекреационного использования территории, необходим строгий контроль нагрузки и дальнейшие мониторинговые исследования. В настоящее время Нефтяной овраг выполняет роль рефугиума флоры и зональных и интразональных типов растительности.

Литература

1. Ильина В.Н., Митрошенкова А.Е. Роль памятников природы регионального значения в сохранении фиторазнообразия в Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014а. Т. 16. № 1-4. С. 1205-1208.
2. Ильина В.Н., Митрошенкова А.Е. Сохранение фиторазнообразия на особо охраняемых природных территориях Самарской области // Проблемы современной биологии. 2014б. № XII. С. 20-26.
3. Казанцев И.В., Саксонов С.В. Фитосозологический рейтинг памятников природы регионального значения Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. № 4-1. С. 45-54.
4. Красная книга Самарской области. Том I. Редкие виды растений и грибов. Самара, 2017. (Издание 2-е, переработанное и дополненное). 384 с.
5. Кузьмина А.С., Ильина В.Н. Ценность особо охраняемых природных территорий в ран-ге памятников природы регионального значения Самарской области (на территории Хворостянского района) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020. Т. 29. № 3. С. 153-156. DOI: 10.24411/2073-1035-2020-10346.
6. Рогов С.А., Ильина В.Н. Памятники природы регионального значения как основа экологического каркаса Самарской области (Россия) // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: сб. материалов VII Международной заочной научно-практической конференции. Минск: УГЗ, 2020. С. 321-323.
7. Саксонов С.В. Роль памятников природы Самарской области в сохранении редких и исчезающих видов растений // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2007. Т. 16 (3). С. 503-517.

ФИТОСОЗОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ «ГОРА ВЫСОКАЯ»

К.Ю. Атанова

Самарский государственный социально-педагогический университет
E-mail: atanova.kseniya@sgspu.ru

В современном мире хозяйственная деятельность человека приобрела разрушительные для окружающей среды масштабы. Вследствие чего остро встал вопрос о поиске оптимального решения проблемы постоянного увеличения антропогенной нагрузки на природные объекты и их трансформации, а также возникла необходимость организации специальных охранных зон, недоступных или ограниченных для посещения и хозяйственного использования населением. В конечном счёте одним из главных и целесообразных способов сохранения видового, ценотического и экосистемного разнообразия стало создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В настоящее время в Самарской области сформирована целая сеть различных особо охраняемых природных территорий (Ильина и др., 2013; Особо охраняемые…, 2018).

В Сергиевском районе Самарской области создано девять ООПТ, нуждающихся в более подробном исследовании уникальной флоры и фауны и составлении на основе новейших данных фитосозологического рейтинга. В качестве объекта изучения нами был выбран памятник природы регионального значения Самарской области «Гора Высокая».

Гора Высокая является одной из самых уникальных достопримечательностей Сергиевского района. Имея очертания настоящей «горы» и располагаясь среди равнин, она вызывает настоящее восхищение у туристов и местного населения. Ее площадь составляет 50 га. Гора расположена вдали от крупных городов Самарской области, в 100 км от Самары и в 170 км от Тольятти недалеко от села Старое Якушкино и деревни Васильевки вдоль правобережья р.Шунгут, и совершенно обособлена от других отрогов Бугульминско-Белебеевской возвышенности, представляя собой останец после ледникового периода. Гора имеет относительную высоту около 100 м. Но на сравнительно ровной территории она заметно выделяется (Иванова и др., 2009; Ильина, Ильина, 2009).

Флора Высокой горы включает 148 представителей высших сосудистых растений. Только один представитель – эфедра двуколосковая, принадлежит к отделу Голосеменные. Основу флоры составляют семейства Сложноцветные, Бобовые, Губоцветные, Злаковые, Лютиковые и Розоцветные, насчитывающие более 60% от общего числа видов. На горе Высокой нет лесной растительности. На каменистой почве растут такие виды, как *Stipa capillata, Potentilla arenaria, Alyssum turkestanicum.* Склоны покрыты разнотравно-типчаково-ковыльной степью, в составе которой отмечаются *Stipa lessingiana, Festuca valesiaca, Helictotrichon desertorum, Poa bulbosa, Phleum phleoides, Agropyron desertorum.*

Здесь произрастают растения, занесенные в Красную книгу Самарской области (2007) и в Красную книгу России (2008). К примеру, из общего числа зарегистрированных представителей 30 видов являются редкими для Самарской области или заметно сокращают свою численность. Среди растений-эндемиков можно отметить: *Hedysarum gmelinii, H. grandiflorum, H. razoumovianum, Oxytropis floribunda, Astragalus wolgensis,* а среди видов, занесённых в Красную книгу России: *Hedysarum grandiflorum, H. razoumovianum, Iris pumila, Stipa pennata, Artemisia salsoloides, Globularia punctata.*

Согласно критериям фитосозологической оценки, предложенным И.В. Казанцевым и С.В. Саксоновым (2015) с дополнениями (Кузьмина, Ильина, 2020) гора Высокая имеет следующие характеристики: I – степень изученности растительного покрова: хорошо изучен (4); II – демонстрационное (эталонное) значение: очень большое (8); III – площадь памятника природы: до 300 га (9 баллов); IV – антропотолерантность растительного покрова: высокая (4); V – ценотическое разнообразие: два типа растительности (5); VI – общая численность ви-

дового разнообразия: до 150 видов (12); VII – число видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и Самарской области: более 21 вида (28); VIII – степень трансформированности: условно коренной (24); IX – восстановительный потенциал: удовлетворительный (18).

По проведенной фитосозологической оценке сумма баллов равна 112. Это свидетельствует о достаточно высоких позициях природного комплекса в рейтинге объектов охраны Самарской области.

В ходе оценки состояния почвенно-растительного покрова обнаружилось, что территория находится в удовлетворительном состоянии, антропогенная нагрузка снижается. Природоохранный статус, ответственное отношение жителей района и туристов к данному месту положительно влияют на сохранение его биологического разнообразия.

Литература

1. Иванова А.В., Васюков В.М., Ильина В.Н., Елкина Е.М. Роль ценных степных экосистем Самарского Заволжья в сохранении редких степных видов // Степи Северной Евразии: материалы V Международного симпозиума. Оренбург: ООО «Оренбурггазпромсервис», 2009. С. 327-329.
2. Ильина В.Н., Ильина Н.С. Флора памятника природы Самарского Высокого Заволжья «Гора Высокая» // Степи Северной Евразии: материалы V Международ. симпозиума. Оренбург: ООО «Оренбурггазпромсервис», 2009. С. 337-338.
3. Ильина В.Н., Митрошенкова А.Е., Устинова А.А. Организация и мониторинг особо охраняемых природных территорий в Самарской области // Самарский научный вестник. 2013. № 3 (4). С. 41-44.
4. Казанцев И.В., Саксонов С.В. Фитосозологический рейтинг памятников природы регионального значения Самарской области // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. № 4-1. С. 45-54.
5. Красная книга Российской Федерации (растения) / Гл. редкол.: Ю.П. Трутнев и др.; Сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
6. Красная книга Самарской области. Том I. Редкие виды растений и грибов / под ред. С.А. Сенатора, С.В. Саксонова. Самара, 2017. (Издание 2-е, переработанное и дополненное). 384 с.
7. Кузьмина А.С., Ильина В.Н. Ценность особо охраняемых природных территорий в ранге памятников природы регионального значения Самарской области (на территории Хворостянского района) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020. Т. 29. № 3. С. 153-156. DOI: 10.24411/2073-1035-2020-10346.

К АНАЛИЗУ ФЛОРЫ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО ЛЕСХОЗА (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.А. Батина, В.Н. Ильина

Самарский государственный социально-педагогический университет
E-mail: batina.darya@sgspu.ru

Изучение флоры лесов Самарской области служит основой мониторинговых исследований растительного покрова территории, однако в связи с динамичностью и возрастающей антропогенной нагрузкой требует постоянного внимания (Kolomyts et al., 2012; Ильина и др., 2014; Митрошенкова, Ильина, 2014; Ильина, 2021; Ильина, Козловская, 2021). Нашими исследованиями охвачены водораздельные леса Волжского района Самарской области, играющие первостепенное значение в качестве водоохранных, рекреационных и средообразующих массивов (Батина, Ильина, 2021; Батина и др., 2021).

Изучение флоры проводилось в 2019–2021 гг. с использованием геоботанических и флористических методов. В ходе работ составлен аннотированный список видов и проведен его анализ. В данной статье приведены основные экологические характеристики флоры, свидетельствующие о показателях биологического и ценотического разнообразия.

Эколого-фитоценотический анализ видового состава на основе приуроченности видов к различным биотопам даёт ясное представление об экологии видов. Он показывает, что здесь доминирует лесная группа растений, которые составляют 46,6% от общего числа видов (*Heracleum sosnowskyi* L., *Glechoma hederacea* L., *Chaerophyllum bulbosum* L., *Veronica chamaedrys* L., *Prunus avium* L., *Ulmus laevis* L., *Ulmus glabra* L., *Geranium sylvaticum* L., *Vicia cassubica* L., *Vicia sylvatica* L., *Quercus robur* L., *Rhamnus cathartica* L., *Stellaria nemorum* L., *Stellaria holostea* L., *Salix fragilis* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer tataricum* L., *Urtica dioica* L, *Frangula alnus* L., *Convallaria majalis* L., *Corylus avellana* L., *Tilia cordata* Mill., *Carex pilosa* Scop., *Galium odoratum* (L.) Scop., *Galium triandrum* (L.) Scop., *Sorbus aucuparia* L., *Aegopodium podagraria* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Populus tremula* L., *Viola mirabilis* L., *Corydalis bulbosa* (L.) DC., *Chelidonium majus* L., *Malus domestica* Borkh., *Fraxinus excelsior* L.). Это объясняется характером исследуемой местности. Самыми малочисленными группами растений являются лугово-болотная (*Typha angustifolia* L.), рудеральная (*Artemisia sieversiana* Willd.) и сорная (*Sonchus arvensis* L.) – их насчитывается по одному виду, или по 1,3% (табл.).

Во флоре лесных массивов на водоразделах выявлены растения восьми экологических групп по отношению к влаге. Среди них преобладают мезофиты – 74,6%, а самыми малочисленными экологическими группами являются гигромезофиты (*Artemisia abrotanum* L.,

Таблица

Эколого-фитоценотические группы растений

Эколого-фитоценотическая группа	Число видов	
	Абсолютное	В процентах
Лесная	35	46,6
Лесостепная	15	20
Лугово-болотная	1	1,3
Луговая	6	8
Лугово-лесная	10	13,3
Лугово-степная	2	2,6
Прибрежно-водная	2	2,6
Степная	2	2,6
Сорная	1	1,3
Рудеральная	1	1,3
Всего:	75	100

Lycopus europaeus L.) – 2,6% и мезогалофиты (*Trifolium montanum* Bobr.) – 1,3%. Ксеромезофиты представлены шестью видами (*Fragaria viridis* L., *Solidago virgaurea* L., *Potentilla argentea* L., *Galium tinctorium* (L.) Scop., *Artemisia sieversiana* Willd., *Eryngium planum* L.), составляют около 8% флоры. Участвуя в формировании растительного покрова леса, виды разных экологических групп вносят определенное разнообразие в состав его растительности.

Всего зарегистрировано 75 видов сосудистых растений, что является невысоким показателем. Однако это свидетельствует о резком снижении видового разнообразия в ходе неконтролируемых рубок, лесных пожаров и высокой рекреационной нагрузки. Нередко в сообществах полностью утрачивается кустарниковый и травянистый ярусы, а древостой имеет низкие таксационные показатели.

Литература

1. Батина Д.А., Ильина В.Н. К состоянию городских и пригородных лесов г. о. Самара (Россия) // Решение: материалы X Всеросс. научно-практ. конф., г. Березники, 15 окт. 2021 г. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. С. 39-40.
2. Батина Д.А., Ильина В.Н., Козловская О.В. К характеристике дубрав в составе пригородных лесов (окрестности пос. Петра-Дубрава, Волжский и Красноярский районы Самарской области) // Биологические науки и биоразнообразие: матер. I научно-практ. конф. с международ. участием студ. и молод. ученых. Киров: ВятГАТУ, 2021. С. 52-54.
3. Ильина В.Н. К вопросу о состоянии дубовых древостоев пригородных лесов и зеленых зон г. о. Самара // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международ. научно-практ. конф. Красноярск: КГАУ, 2021. С. 429-431.
4. Ильина В.Н., Козловская О.В. К оценке состояния лесов Среднего Поволжья в условиях пирогенной нагрузки // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Улан-Удэ, 15–18 июня 2021 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. С. 183-185.
5. Ильина В.Н., Митрошенкова А.Е., Ильина Н.С., Устинова А.А. Состояние дубовых лесов в черте города Самары и его окрестностях // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2014): материалы Международ. научно-практ. конф. (5 июня 2014 г.). Омск: Омский экономический институт, 2014. С. 38-46.
6. Митрошенкова А.Е., Ильина В.Н. Фиторазнообразие лесных сообществ в условиях урбосреды // Самарский научный вестник. 2014. № 1 (6). С. 81-85.
7. Kolomyts E.G., Rozenberg G.S., Saksonov S.V., Sharya L.S. Forests of Volga river basin under global warming (landscape-ecological analysis and prognosis). New York: Nova publishers, 2012. 412 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРИБНЫХ СООБЩЕСТВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТАЙГИ (ЗАПОВЕДНИК КИВАЧ, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ) МЕТОДОМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ПЦР (QPCR)

А.И. Зуева, А.Г. Зуев

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: aizueva.ecologist@gmail.com

Беспозвоночные активно взаимодействуют с грибами трофически, форически либо выступая в роли инфекционного агента. Микромицеты обнаруживаются и на поверхности тел, и в кишечном тракте животных (Boddy, Jones, 2008).

Целью данного исследования стали изучение соотношения поверхностной и кишечной составляющих микобиома беспозвоночных центральной тайги (на примере заповедника Кивач, Карелия) и установление значимости влияния принадлежности животных к определенной группе на количество ассоциированных микромицетов.

В сентябре 2020 г. на территории заповедника Кивач были отобраны беспозвоночные разных групп и типов питания: личинки и имаго микофагов отряда Diptera (Mycetophilidae, Sciaridae), эпигейные микробофаги класса Collembola (*Orchesella flavescens*), жуки-фитофаги семейства Chrysomelidae. Чтобы установить соотношение между поверхностной и кишечной составляющей микобиома, часть образцов была отмыта от внешних микроорганизмов. Процедуру проводили по модифицированному протоколу обработки беспозвоночных (Gong et al., 2018). В пробирку с образцами добавляли дистиллированную воду и встряхивали 2 мин. Воду удаляли, приливали к образцам 98% этанол и встряхивали 5 мин, после чего удаляли спирт. Далее повторяли этап промывки образца водой, затем добавляли 5%-ный раствор хлорсодержащего отбеливателя и встряхивали 5 мин. Раствор удаляли, повторяли промывку водой. Оставшуюся жидкость осушали аспиратором. Встряхивание производили вручную, чтобы не нарушить целостность беспозвоночных. Обработка была применена ко всем жукам Chrysomelidae, так как особи были немногочисленны. Данные о микромицетах жуков-фитофагов анализировались в ходе установления значимости влияния группы беспозвоночных на их микобиом, но исключались из анализа при сравнении внешней и внутренней частей микобиома.

Из образцов с помощью набора FastDNA™ Spin Kit for Soil (MP Biomedicals, USA) выделяли ДНК в соответствии с инструкцией производителя. ДНК использовали в качестве матрицы для количественной полимеразной цепной реакции (кПЦР, qPCR) с праймерами ITS3 (5′-GCATCGATGAAGAACGCAGC-3′) и ITS4 (5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′) (Bellemain et al., 2010).

По полученному массиву данных о результате реакции анализировали величину Cq – число циклов, понадобившихся для преодоления предела обнаружения продукта реакции. Ни в одном из образцов значение Cq не превышало 29, что говорит об отсутствии образцов с низкими концентрациями грибной ДНК (Taylor et al., 2017).

Дальнейшие статистические операции производились в свободной программной среде R (R Core Team, 2019). Для определения влияния принадлежности беспозвоночных к какой-либо группе на численность ассоциированных с ними микромицетов был проведен однофакторный дисперсионный анализ с последующим апостериорным тестом (тест Тьюки). Фактор принадлежности беспозвоночных оказался статистически значимым (Pr=0.0118). Влияние фактора проявлялось при сопоставлении данных о грибных сообществах имаго отряда Diptera и микробофагов класса Collembola (p=0.0223).

Для установления характера выявленных отличий между данными о Diptera и Collembola была изучена величина 1/Cq (Cq находится в обратной зависимости от концентрации ДНК в образце). Обнаружилось, что концентрация грибной ДНК выше в образцах Collembola, чем в образцах Diptera. Вероятно, это связано с образом жизни *Orchesella flavescens*: являясь эпигей-

ным микробофагом, данное беспозвоночное могло не только поглощать, но и в значительных количествах переносить клетки микромицетов на поверхности тела.

Для установления соотношения поверхностной и внутренней частей микобиома исследованных беспозвоночных был проведен двухфакторный дисперсионный анализ с учетом взаимодействия факторов с последующим апостериорным тестом (тест Тьюки). Анализ показал, что статистически значимым является фактор принадлежности беспозвоночного к какой-либо группе (Pr=0.0052); только в сочетании с этим фактором наличие или отсутствие обработки образцов также становится значимым (Pr=0.0475).

Тест показал, что присутствуют отличия в концентрациях грибной ДНК, выделенной из обработанных образцов имаго Diptera и необработанных образцов Collembola (p=0.0067), а также между обработанными личинками и имаго Diptera (p=0.0214). Анализ величин 1/Cq подтвердил предположение о преобладании поверхностной компоненты микобиома Collembola над кишечной: образцы, с поверхности которых были смыты микроорганизмы, содержали меньшее количество грибной ДНК. Для Diptera показатель отличался между личинками и имаго (что, вероятно, связано с разной интенсивностью питания микофагов на разных стадиях жизненного цикла), но значительно не менялся после обработки растворами. Мы предполагаем, что основная часть микобиома микофагов Diptera находится в кишечнике, а микромицеты на поверхности тела составляют незначительную его часть.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- в микробиомах фитофагов, микофагов и бактериофагов в детектируемых количествах присутствует грибная составляющая;
- количество микромицетов зависит от таксономической принадлежности беспозвоночного;
- сравнивать элементы микробиома на поверхности тел животных и в их кишечнике можно только в сочетании с фактором таксономической принадлежности беспозвоночных.

В дальнейшем планируется идентификация грибов, ДНК которых была выделена в ходе данной работы.

Авторы благодарят Тиунова А.В. (ИПЭЭ РАН), Сараеву А.К. (Институт леса КарНЦ РАН), Ксенофонтову Н.А. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева) и И. Шафер (Геттингенский университет им. Георга-Августа) за помощь в работе.

Исследование выполнено при частичной поддержке Alexander von Humboldt foundation (проект № 3.4-1071297-RUS-IP).

Литература

1. Bellemain E., Carlsen T., Brochmann C., Coissac E., Taberlet P., Kauserud H. ITS as an environmental DNA barcode for fungi: an in silico approach reveals potential PCR biases // BMC microbiology, 2010. V. 10. №. 1. P. 1-9.
2. Boddy L., Jones T.H. Interactions between basidiomycota and invertebrates // British Mycological Society Symposia Series.Academic Press, 2008. V. 28. P. 155-179.
3. Gong X., Chen T.W., Zieger S.L., Bluhm C., Heidemann K., Schaefer I., Maraun M., Liu M., Scheu S. Phylogenetic and trophic determinants of gut microbiota in soil oribatid mites // Soil Biology and Biochemistry, 2018. V. 123. P. 155-164.
4. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing // R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2019.
5. Taylor S.C., Laperriere G., Germain H. Droplet Digital PCR versus qPCR for gene expression analysis with low abundant targets: from variable nonsense to publication quality data // Scientific reports, 2017. V. 7. №. 1. P. 1-8.

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОЖАРНОЙ АКТИВНОСТИ В ЛЕСАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ НА ПРИМЕРЕ КОМСОМОЛЬСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

И.Н. Кутявин

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru

Потепление климата ведет к изменению динамики пожаров в бореальных лесах, что приводит к увеличению пожароопасных сезонов и созданию благоприятных условий для их активности (Flannigan et al., 2009; Bergeron et al., 2010). Основными факторами пирогенной ситуации в лесных экосистемах являются гроза и человек (Иванов, Иванова, 2010). Следовательно, необходимы знания поведения пожарной активности на современном этапе изменения климатической ситуации на Земле.

Цель данной работы – оценка полувековой пожарной активности на территории юго-восточной части Республики Коми (РК) на примере Комсомольского лесничества. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: выявить пространственные взаимосвязи грозовой активности на территории лесничества при помощи картирования пожаров за последние 50 лет; определить цикличность пожаров на исследуемой территории; установить связь пожарной активности с природными (гроза, температура, осадки) и антропогенными факторами на юго-востоке РК; установить площадь распространения пожаров при современном управлении лесного хозяйства.

За основу анализа пожаров за последние 47 лет на территории юго-востока республики были использованы данные книги учета лесных пожаров Комсомольского лесничества с 1973 по 2021 г. Сведения о пожарах в книге учета позволяют установить координаты местонахождения пожаров, даты обнаружения и ликвидации, площадь их начального возгорания и ликвидации, причины возникновения и способы тушения огня в лесу. Визуализация пожаров на карте проводилась с использованием космических снимков разных лет 1990–1995 гг. (Landsat TM5) и 2021 г. (Sentinel-2). Для этого в программе Arc Map на слой космического снимка накладывалась квартальная сеть, после чего по данным пожарной книги – место пожара (номер квартала и выдела), далее идентифицировали и оконтуривали его. Обработка информации о пожарах по данным книги проведена с использованием Microsoft Excel 2007.

Распределение пожарной активности по лесным формациям в лесничестве указывает на преобладание пожаров в сосняках (76%), темнохвойные лесные сообщества подвержены огню в 21% случаев, на лиственные и смешанные хвойно-лиственные сообщества приходится порядка 3.8%. Анализ пожарной активности за период с мая по сентябрь показал, что наибольшее число пожаров происходит в июле (50%). На июнь и август приходится 20, на май – 8, сентябрь – 0.3% случаев возгораний.

Анализ эффективности пожаротушения за последние 47 лет выявил тренд увеличения площади сгоревших лесных территорий лесничества. Увеличение площади пожаров проявляется с 1995 г. Такая тенденция обусловлена несвоевременным авиапатрулированием лесных территорий, ухудшением экономической ситуации в стране, что связанно с упразднением леспромхозов, которые занимались оперативной ликвидацией пожаров. С появлением пожарно-химических станций в РК с 2014 г. отмечается снижение выгорания лесных площадей, по сравнению с периодом 1973–1994 гг.

Взаимосвязь количества пожаров на территории лесничества со средней температурой воздуха за пожарный период показал тесную корреляцию (R=0.57). Связь количества пожаров с суммой осадков с мая по август отрицательная (R= - 0.56). Довольно тесная связь (R=0.63) выявлена между количеством пожаров, происходящих от гроз, и температурой воздуха, тогда как связь корреляции количества пожаров, возникающих от антропогенного фактора, и тем-

пературой воздуха отсутствует (R=0.06). Проведенный анализ тренда динамики количества пожаров, происходящих от гроз, показывает стабильную их роль за период наблюдений, тогда как фактор динамики антропогенного воздействия показывает снижение его роли вплоть до нулевого значения. Одна из основных причин уменьшения количества возникновения огня от человеческого фактора, вероятней всего, связана со снижением численности населения на исследуемой территории. Наибольшее количество пожаров от человека отмечается в период с 1973 по 1990 г., что, видимо, объясняется активным освоением данной территории. Пики вспышек пожарной активности от гроз характеризуются «волнообразной» кривой чередующихся пиков пожарной активности через 10-летние периоды. В целом за наблюдаемый период количество возгораний, происходящих от гроз, составило 64%, от воздействия человека – 29 и по неустановленным причинам – 7%.

Таким образом, пожары, происходящие на юго-восточной части территории РК, в большей степени зависят от погодных условий. Жаркая и сухая погода в бесснежный период, сопровождающаяся сухими грозами, обуславливает увеличение частоты лесных пожаров. Влажное грозовое лето закономерно снижает количество лесных пожаров. За последние два десятилетия отмечается снижение влияния антропогенного фактора на пожарную активность. Последующие исследования и расширение фактического материала по пожарной активности региона позволят расширить понимание прогнозирования динамики лесных пожаров и наметить пути последующей ликвидации их на территории РК.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 1021051101417-8-1.6.19) гранта РФФИ (19-29-05111 мк).

Литература

1. Иванов В.А., Иванова Г.А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.
2. Flannigan M., Stocks B., Turetsky W. Impact of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // Global Change Biology, 2009. № 15. P. 549-560.
3. Bergeron Y., Cyr D., Girardin M.P., Carcaillet C. Will climate change drive 21st century burn rates in Canadian boreal forest outside of its natural variability: collating global climate model experiments with sedimentary charcoal data // International Journal of Wildland Fire, 2010. № 19. P. 1127-1139.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК СУБАРКТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ИХ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

А.П. Малуша, Н.В. Зуева

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: maluuusha@yandex.ru

Для формирования целостного представления о функционировании водных экосистем Субарктики необходима полная инвентаризация биотических компонентов этих систем. Крупные водные растения можно отнести к недостаточно изученному звену в реках севера Мурманской области. Поэтому целью данной работы стала оценка таксономического разнообразия ряда рек северо-запада Мурманской области и их экологического состояния. Нами была рассмотрена пограничная река Паз. По реке проходит большая часть границы между Россией и Норвегией. Перепад высот реки от истока до устья составляет 119 м. При длине 117 км река обладает колоссальной энергией. Это привело к строительству гидроэлектростанций. В 1955–1978 гг. на всех порогах реки создан каскад ГЭС: пять российских и две норвежские.

В работе выполнен анализ экспедиционных данных за период 2019–2021 гг. Материалы исследований 2019 г. опубликованы. Для удобства оценивания р. Паз была разделена на 11 условных отрезков, на которых расположена 41 станция. Таксономическое богатство макрофитов реки слагается из 54 видов. Причем среди них есть виды растений, занесенных в Красную книгу Мурманской области и Российской Федерации, такие как полушник озерный (Isoëteslacustris) и колючеспорый (I.echinospora). В экологическом спектре преобладающей является группа гидрофитов – настоящих водных растений.

Для формализации биоиндикационной информации о р. Паз был выполнен расчет макрофитного индекса. Для этих целей выбран норвежский трофический индекс. С помощью него возможно производить оценку водотоков с использованием числа чувствительных и толерантных к содержанию общего фосфора в воде растений. Был посчитан индекс отдельно для каждой станции, средние значения для участков и реки. Значения индекса для 11 исследованных отрезков реки изменяются в диапазоне от 76% до 100% (рис.). Причем большему значению

Рисунок

индекса соответствует меньший уровень трофности. Стоит отметить, что индекс немного уменьшается на участках перед ГЭС (т.е. трофность увеличивается), что обусловлено замедлением скорости течения и накапливанием органического вещества в данных участках. Самый высокий уровень трофности зафиксирован в оз. Сальмиярви. Кроме того, на этом участке реки обнаружены очень обильные заросли тройчатой ряски (Lemnatrisulca). Тем не менее ниже по течению значения индекса вновь свидетельствуют о фоновом, относительно низком уровне трофности. Среднее значение индекса для р. Паз составляет 87%. Из чего мы можем сделать вывод, что река справляется с антропогенной нагрузкой и в целом обладает низкой трофностью.

Литература

1. Зуева Н.В., Гришуткин О.Г., Зуев Ю.А., Ефимов Д.Ю., Чемерис Е.В.,Бобров А.А. Оценка состояния растительного покрова трансграничноводотока северной Фенноскандии – реки Паз (российская часть) // Биол. внутр. вод, 2022. № 4 (принята 20.01.2022).
2. Penning W.E., Mjelde M., Dudley B., Hellsten S., Hanganu J., Kolada A., van den Berg M., Maemets H., Poikane S., Phillips G., Willby N., Ecke F. Classifying aquatic macrophytes as indicators of eutrophication in European lakes // Aquatic Ecology, 2008. Vol. 42. P. 237–251.
3. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и дополн. Кемерово, 2014. 583 с.
4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов. научн. изд. КМК, 2008. 855 с.

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ КАК ИНДИКАТОР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЮГЫД ВА»

Т.А. Мыльникова, В.В. Елсаков

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: mylnikova.t.a@ib.komisc.ru

Среди наиболее чувствительных индикаторов любых экосистемных перестроек северного региона – показатели состояния растительного покрова (видовой состав, структура, проективное покрытие, функциональная активность компонентов и др.). Они наиболее чувствительны, поскольку отражают интегральное воздействие климатических и антропогенных влияний. Особый интерес вызывают исследования предгорных и горных лесов в связи с более яркой выраженностью градиента эколого-ценотических условий, приводящей к зональным сменам растительности на более компактной по площади территории, чем на равнинной части. Основные тенденции изменения лесных фитоценозов на верхней границе леса предгорных и горных участков определяются климатическими сдвигами, прослеживаются различными методами и связаны с продвижением границы леса, увеличением сомкнутости крон залесенных участков, усилением радиального прироста древесины (Ваганов и др., 1996; Шиятов, 2009; Елсаков, Марущак, 2011; Фомин и др., 2015).

В исследовании предпринята попытка сопоставления оценок временных изменений показателей сомкнутости древостоя, выполненных различными методами. Измерения на модельных участках выполняли методами ландшафтной фотографии (Шиятов и др., 2009), сопоставлением тематических карт различных лет (1960–2020 гг.), обработкой материалов спутниковых съемок Landsat за период 1987–2020 гг. Результаты использования первых двух методов получены и представлены к.б.н. А.А. Григорьевым (ИэРИЖ УрО РАН). В качестве модельных рассмотрены три участка, представляющих собой широтную трансекту в пределах границ территорий Приполярного Урала (истоки р. Малый Паток – южный участок; окрестности г. Сабля – средний; истоки р. Лимбекою – северный).

Оценка сомкнутости древостоев выполнена по изображениям периода ранней весны с присутствием снежного покрова. Для выявления связи спектральных величин (использовали красные каналы Landsat) и результатов подспутниковых измерений применяли метод многомерной линейной регрессии вида:

$$y = k + \sum_{i=1}^{n} ch_i \times a_i ,$$

где y сомкнутость (%), k – рассчитанный свободный коэффициент, a – коэффициент при i-м канале набора снимков (ch_i), n – общее количество использованных каналов снимков. Применяемая формула изменяет величину сомкнутости пропорционально яркостным характеристикам космоснимков. Ввиду этого экспериментально были установлены величины сомкнутости, в которых участки с низкими показателями яркости идентифицируются как области с максимальной сомкнутостью (100%), а участки повышенной яркости соответствуют минимальным показателям (0%). На основании сопоставления обработки снимков временных серий рассчитаны тренды временных изменений показателя.

Проведенный анализ показал, что материалы разногодовых зимних спутниковых съемок являются хорошим источником в оценке сомкнутости древостоя, так как совпадение с подспутниковыми материалами измерений А.А. Григорьева на некоторых участках доходило до 90%. Наибольшее смещение границы леса в период 1987–2020 гг. наблюдали в пределах экотонных зон северных участков Приполярного Урала, а на южных участках отмечен преимущественно рост сомкнутости крон.

Литература

1. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
2. Елсаков В.В., Марущак И.О. Спектрозональные спутниковые изображения в выявлении трендов климатических изменений лесных фитоценозов западных склонов Приполярного Урала // Компьютерная оптика, 2011. Т. 35, № 2. С. 281–286.
3. Фомин В.В., Михайлович А.П., Шиятов С.Г. Новые подходы к изучению динамики высокогорной древесной растительности с использованием разновременных ландшафтных фотоснимков (на примере Полярного Урала) // Экология, 2015. № 5. С. 323–331.
4. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЯДА ВИДОВ РОДА *STAURASTRUM* MEYEN EX RALFS

М.А. Неудахина

МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: m.a.neudakhina@yandex.ru

Staurastrum Meyen ex Ralfs – это род одноклеточных водорослей семейства *Desmidiacea (Desmidiales, Zygnematophyceae)*, характеризующийся симметрией клеток и очень разнообразной скульптурой клеточной стенки. Это один из самых крупных по числу видов род в семействе. В базе Algabase в настоящее время насчитывается 706 подтвержденных видов (Guiry, Guiry, 2022) и более 400, имеющих статус синонима или неверифицированного вида. Согласно молекулярным данным, род не монофилетичен (Гончаров, 2009), однако разбить его на меньшие группы пока не представляется возможным – лежащие в основе современной классификации рода морфологические признаки неоднократно возникали независимо в разных ветках полученного дерева. Поиск дополнительных морфологических признаков – одна из приоритетных задач при изучении рода *Staurastrum*.

Исследование представителей рода *Staurastrum* преимущественно ведется методами световой микроскопии. Данный метод подходит для большинства задач, однако существует ряд ограничений. В частности, клетки большинства видов *Staurastrum* – достаточно объемные, чтобы частично выходить за пределы фокусного расстояния и создавать тени и иллюзии, а ряды структур на поверхности клеток могут перекрываться, делая невидимыми важные детали (Brook, 1959).

Значительно больше информации можно получить при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследования представителей рода *Staurastrum* при помощи СЭМ были начаты в начале 70-х годов прошлого века (Lyon, 1969). В настоящее время стандартной считается методика подготовки фиксированного материала к сканированию, позволяющая получать качественные изображения поверхности клеточной стенки (Anissimova, 2021).

Материалом для данной работы послужили фотографии видов *Staurastrum inconspicuum* Nordstedt, *S. scabrum* Brébisson и *S. controversum* Brébisson ex Ralfs, полученные при помощи СЭМ. Представленный материал был отобран из следующих водоемов Московской области: Электрогорский болотный массив, Лобненское болото, Филинское болото (рис. 1). Пробы

Рис. 1. Места сбора проб водорослей. 1 – Лобненское болото, 2 – Филинское болото, 3 – Электрогорский болотный массив.

были зафиксированы на месте сбора раствором FAA, в дальнейшем работу проводили по протоколу для препаратов СЭМ (Anissimova, 2021).

S. inconspicuum – согласно данным литературы и собственным исследованиям, широкораспространенный вид в водоемах Московской области. В современном описании (Coesel, Meesters, 2013) указаны характерные выросты полуклеток. Длина и ширина клеток составляют 12-20 мкм. Исследования при помощи СЭМ дают представление о расположении пор в оболочке клетки. Нам удалось обнаружить центральную пору на апикальном конце клетки, центральную пору на отростках, и по две одиночных поры на дорсальной и вентральной сторонах отростков (рис. 2).

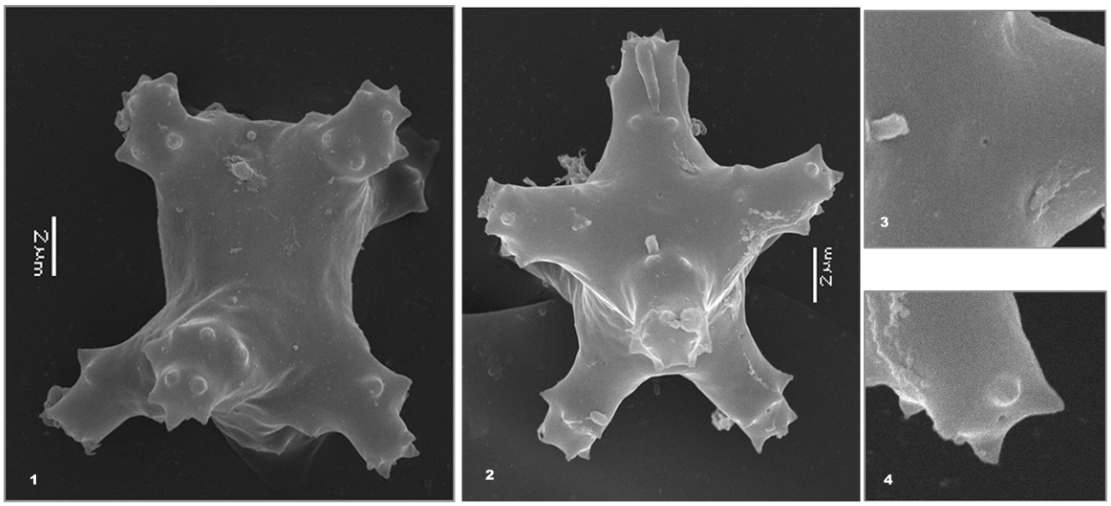


Рис. 2. *Staurastrum inconspicuum* Nordstedt. 1 – общий вид клетки, 2 – вид клетки с апикальной стороны, 3 – центральная апикальная пора, 4 – центральная пора отростка.

S. scabrum – вид, ранее не отмеченный в Московской области. Представители вида обнаружены в Электрогорском болотном массиве. Размеры клеток 27-40 мкм дл., 26-38 мкм шир. Показано, что клетки имеют характерное двурядное апикальное поровое поле, расстояние между порами составляет в среднем 2 мкм. Кроме того, удалось проследить поры на дорсальной стороне боковых отростков клеток (рис. 3).

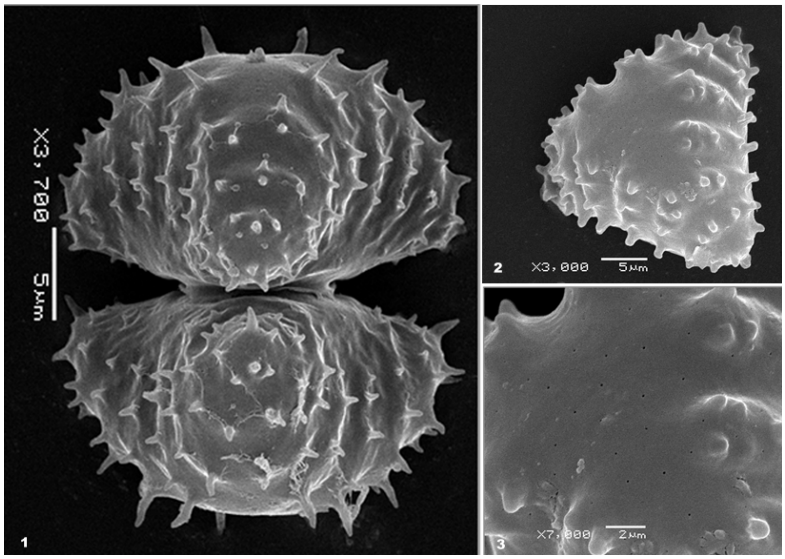


Рис. 3. *Staurastrum scabrum* Brébisson. 1 – общий вид клетки, 2 – внешний вид полуклетки с апикальной стороны, 3 – апикальное поровое поле.

S. controversum – предположительно довольно редкий для Московской области вид. В настоящее время мы встречали его только в двух местах – в Филинском болоте и в окрестностях Звенигородской биостанции. Размеры клеток – 30-55 мкм дл., 25-40 мкм шир., характерная особенность – закрученные в горизонтальной плоскости отростки. Вид достаточно полиморфный.

На фото (рис. 4) изображены представители одной популяции из Филинского болота. Явно видна разница в шипах на отростках: у одной клетки шипы представляют собой ярковыраженную двузубую «вилочку», у другой шипы прямые, практически без раздваивания. Расположение пор для данного вида пока остается неизвестным.

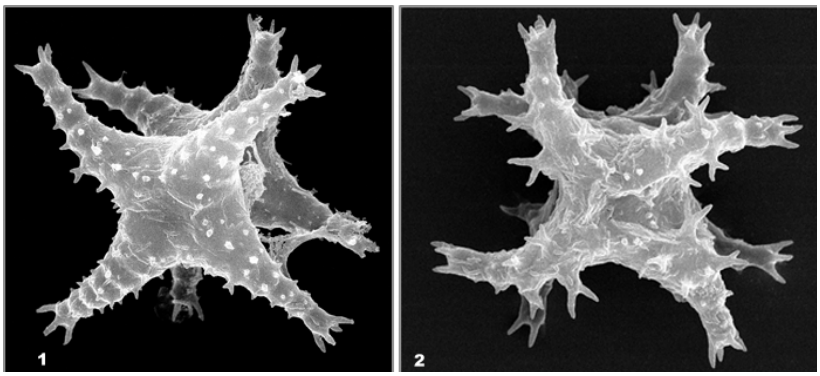


Рис. 4. *Staurastrum controversum* Brébisson ex Ralfs. 1 – клетка с прямыми шипами, 2 – клетка с раздвоенными шипами.

Ни для одного представленного в работе вида в диагнозе не указана информация про расположение пор и количество шипов на отростках. Мы предполагаем, что расположение и морфология поровых полей может оказаться важным признаком в систематике рода, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Гончаров А.А. Проблемы систематики конъюгат (*Zygnematophyceae, Streptophyta*) с точки зрениямолекулярно-филогенетических данных // Бот. журн., 2009. Т. 94. № 10. С. 1417–1438.
2. Anissimova O.V. European flora of the desmid genus *Euastrum*. Special studies on the cell wall ornamentation. Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2021. 110 pp.
3. Brook A. J. XXVI. *Staurastrum paradoxum* Meyen and S. gracile Ralfs in the British Freshwater Plankton, and a Revision of the S. anatinum-group of Radiate Desmids // Trans. Roy. Soc. Edin., 1959. V. 63. Is. 3. P. 589-628.
4. Coesel P. F. M., Meesters K. J. European Flora of the Desmid Genera *Staurastrum* and *Staurodesmus*: Identification Key for Desmidiaceae - Morphology - Ecology and Distribution - Taxonomy. Brill, 2013. 358 pp.
5. Guiry, M.D., Guiry, G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2022. http://www.algaebase.org (дата обращения: 14.03.2021).
6. Lyon T.L. Scanning electron microscopy; a new approach to the Desmidiaceae // J. Phycol., 1969. V. 5. P. 380-382.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ ВОДОЁМОВ ВЫРАБОТАННЫХ ГЛИНЯНЫХ КАРЬЕРОВ ЮГА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.А. Панюков

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Email: panjukov.a.a@ib.komisc.ru

В настоящее время человечество активно пользуется природными ресурсами, в том числе глиной. Ее добывают различными способами, в нашем случае – карьерным. Флора и растительность водоемов глиняных карьеров на территории Республики Коми слабо изучены. Ранее рассматривались вопросы естественного зарастания карьеров в подзоне северной тайги (Копцева, Абакумов, 2013). Представленные результаты позволяют дополнить сведения о составе и структуре флоры на территориях, подверженных антропогенной трансформации.

Обследованный карьер находится в Сысольском районе Республики Коми, в подзоне средней тайги. Среднегодовая температура воздуха -1°С, среднегодовое количество осадков – 621 мм (Аталас…, 1997).

Флористический состав водоёмов глиняных карьеров был выявлен маршрутным методом, вдоль береговой линии и на открытой части водоема. В каждом типе местообитаний выявляли полный видовой состав его растительного покрова. Латинские названия приведены в соответствии со сводкой С.К. Черепанова (1995). Для обработки флористических данных была использована интегрированная ботаническая информационная система IBIS 7.2 (Зверев, 2007).

В составе флоры водоемов выработанных глиняных карьеров были выявлены 31 вид высших сосудистых растений, что является всего лишь 3.5% от состава флоры региона (Мартыненко и др., 1987), и три вида водных мохообразных, или 1.1% от состава флоры мхов водных и околоводных местообитаний (Железнова и др., 2019), относящиеся к 21 семейству и 25 родам (табл. 1). В целом для нерекультивируемых глиняных карьеров характерно снижение их видового состава в процессе самозарастания (Хабирова, Кулагин, 2016).

Таблица 1

Таксономическая структура флоры выработанных песчаных карьеров

Показатель	Значение
Общее число видов, шт.	34
Общее число родов, шт.	25
Общее число семейств, шт.	21
Среднее число видов в роде, шт.	1.36
Среднее число видов в семействе, шт.	1.62
Среднее число родов в семействе, шт.	1.19
Число одновидовых родов, шт.	20
Доля одновидовых родов, %	80
Число одновидовых семейств, шт.	15
Доля одновидовых семейств, %	71.43
Максимальное число видов в одном роде, шт.	4
Максимальное число видов в одном семействе, шт.	5
Максимальное число родов в одном семействе, шт.	3
Доля сосудистых споровых, %	2.94
Доля мхов, %	8.82
Доля цветковых, %	88.24
Доля однодольных среди цветковых, %	56.67
Доля двудольных среди цветковых, %	43.33

Среди семейств ведущее положение занимают *Cyperaceae* – 5 видов, *Salicaceae* – 4 вида, *Potamogetonaceae* и *Lemnaceae* – по 3 вида (табл. 2). На долю ведущих семейств приходится 44.12%. Слабая видовая насыщенность семейств флоры водоемов глиняных карьеров (табл.1) обусловлена прежде всего тем, что многие семейства флоры региона не обладают специализированностью к существованию в гидроморфных условиях (Тетерюк, 2012). Так, во флоре изученных водоёмов представлены виды пяти гидроспециализированных семейств *Alismataceae* (1 вид), *Callitrichaceae* (1), *Lemnaceae* (3), *Potamogetonaceae* (3), *Typhaceae* (1 вид).

В родовом спектре роды *Salix* – 4 вида, *Carex* и *Potamogeton* – по 3 вида. Гидрофильные виды этих родов имеют выраженные адаптивные приспособления к существованию в условиях высокого увлажнения. На долю ведущих родов приходится 29.41% видов флоры карьеров (табл. 2). Остальные роды (70.59%) представлены 1-2 видами, что характерно для флор антропогенно-трансформированных территорий.

Таблица 2

Список ведущих семейств / родов

Семейства	Число видов	Роды	Число видов
Cyperaceae	5	*Salix*	4
Salicaceae	4	*Carex*	3
Potamogetonaceae	3	*Potamogeton*	3
Lemnaceae	3		
Всего:	15		10
Доля, %	44.12		29.41

Родовой коэффициент флоры (отношение числа видов к числу родов) является отражением разнообразия ее экологических условий. Чем выше значение коэффициента, тем ниже их разнообразие (Толмачёв, 1974). Для объединенной флоры водоемов выработанных глиняных карьеров родовой коэффициент составляет 73.5%, что свидетельствует о небольшом разнообразии экологических условий.

В составе изученной флоры не были отмечены виды, занесенные в Красную книгу Республики Коми (Красная книга…, 2019). Во флоре водоемов глиняных карьеров было выявлено два синантропных вида (*Typha latifolia* L., *Tussilago farfara* L.).

Литература

1. Железнова Г.В., Шубина Т.П., Тетерюк Б.Ю. Анализ флоры мхов водных и околоводных местообитаний Республики Коми // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2019. Вып. 2 (38). С. 26–33.
2. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
3. Копцева Е.М., Абакумов Е.В. Первичные сукцессии растительности и почв на карьерах в подзоне Северной тайги (на территории Ухтинского и Сосногорского районов Республики Коми) // Вестник СПбГУ, 2013. Сер. 3. Вып. 1. С. 28-44.
4. Красная книга Республики Коми / под ред. С.В. Дёгтевой. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2019. 768с.
5. Мартыненко В.А., Железнова Г.В., Гецен М.В., Улле З.Г., Лавренко А.Н. Флора Северо-Востока европейской части СССР как ботанико-географическая система. Сыктывкар: Ротапринт Коми филиала АН СССР, 1987. 23 с.
6. Тетерюк Б.Ю. Флора и растительность древних озёр Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2012. 237 с.
7. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Наука, 1974. 244 с.
8. Хабирова Л.М., Кулагин А.А. Восстановление растительного покрова естественным путем на неэксплуатируемых карьерах по добыче глины на территории Республики Башкортостан // материалы XII Всероссийской научно-практической конференции по программе

«Проблемы социокультурной эволюции России и ее регионов». Российский гуманитарный научный фонд, 2016. С. 233-237.
9. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья–95, 1995. 992 с.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОСОКОВЫХ СООБЩЕСТВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Е.В. Панюкова[1], Н.А. Маклакова[2]

[1]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ev_knyazeva@mail.ru
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

Сообщества осок являются основными фитоценозами, формирующими растительный покров водохранилищ таежной зоны Республики Коми. Они используются как пастбищные и сенокосные растения, служат средой обитания и кормовыми угодьями для многих животных, в особенности для водоплавающих птиц. (Егорова, 1999).

Цель данной работы – оценить вклад осоковых сообществ в первичную продукцию малых водохранилищ таежной зоны Республики Коми.

Изучение продуктивности сообществ осок проводили на трех малых водохранилищах: Кажимском, Нювчимском и Нючпасском, в конце июня – июле 2019–2021 гг. Водохранилища расположены в Вычегодском бассейне в пределах подзоны средней тайги (Юдин, 1954). Они были созданы во второй половине XVIII в. для нужд чугунно-литейного производства. На данный момент используются для культурно-бытовых и рыбохозяйственнных целей.

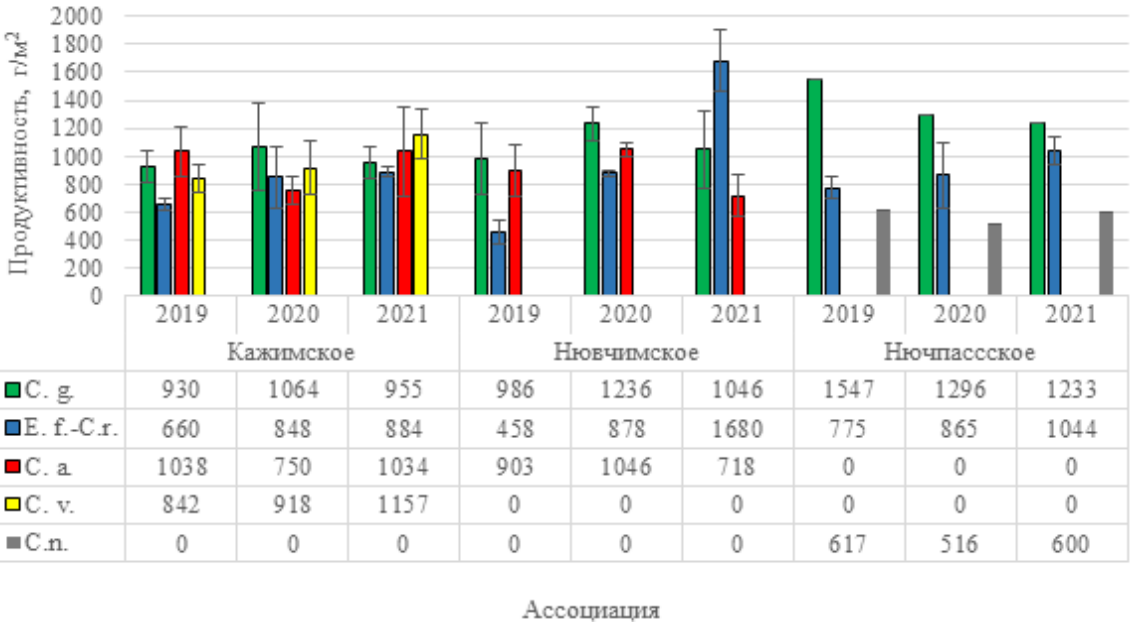
Отбор и обработку гидроботанических материалов выполняли согласно методике В.М. Катанской (1981). Для определения продуктивности осок закладывали укосные площадки размером 0.25 м^2. Укосы отбирали в каждом типе сообществ в трехкратной повторности. В полевых условиях каждый укос разбирали по видам и высушивали на воздухе. В лаборатории досушивали укосы при температуре 105°С не менее 6 ч., после чего взвешивали их абсолютно-сухой вес (Папченков, 2001). При переводе абсолютно-сухого веса в чистую годовую продукцию согласно методике В.Г. Папченкова (2001) использовали коэффициент 2.0.

В состав растительного покрова водохранилищ входят 19 видов семейства Cyperaceae, из них всего пять формируют самостоятельные ассоциации: *Caricetum gracilis* Savič 1926 (C.g), *Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae* Zumpfe 1929 (E.f.-C.r.), *Caricetum aquatilis* Savič 1926 (C.a), *Caricetum vesicariae* Chouard 1924 (C.v), *Caricetum nigrae* Br.-Bl. 1915 (C.n.).

Осоковые в исследуемых водоемах занимают обширные площади. На их долю от общей площади зарастания приходится 74.2% в Кажимском, 67.6 в Нючпасском и 46.1% в Нювчимском водохранилищах. Из них в Нючпасском водохранилище наиболее распространены ассоциации *Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae*, они занимают 67.4%. В Кажимском водохранилище наравне с ассоциациями осоки вздутой (31.5%) велики площади, занятые ассоциациями *Caricetum vesicariae* – 30.0%. Нювчимское водохранилище отличается от двух других водохранилищ преобладанием ассоциаций *Caricetum gracilis* – 22.7%, хотя доля участия ассоциаций осоки вздутой в зарастании водоема также значительна – 19.9%. За три года, в течение которых проводились исследования, общая площадь, занимаемая ассоциациями осок, практически не изменилась.

Продуктивность осок за период изучения водохранилищ варьировала в среднем в пределах 33% в зависимости от года. Максимальное расхождение отмечено в ассоциации *Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae* в Нювчимском водохранилище: в 2020 г. – в 1.9 раз, в 2021 г. – в 3.7 раз в сравнении с 2019 г. (рис.).

Рост продуктивности сообществ ассоциации осоки вздутой в 2020–2021 гг. объясняется повышением уровня воды и подтоплением ее экотопов. Д.В. Дубына (1993) отмечает, что увеличение увлажнения ведет к повешению продуктивности и жизненности особей. Высокая продуктивность ассоциации *Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae* в этом случае скорее исключение, так как анализ полученных данных показал, что наиболее продуктивными являются фитоценозы трех других осок: острой, водяной и пузырчатой. В среднем их продуктивность выше, чем у осоки вздутой в 1.2 раза и максимально в 2.2 раза.



	Кажимское 2019	Кажимское 2020	Кажимское 2021	Нювчимское 2019	Нювчимское 2020	Нювчимское 2021	Нючпассское 2019	Нючпассское 2020	Нючпассское 2021
C. g.	930	1064	955	986	1236	1046	1547	1296	1233
E. f.-C.r.	660	848	884	458	878	1680	775	865	1044
C. a.	1038	750	1034	903	1046	718	0	0	0
C. v.	842	918	1157	0	0	0	0	0	0
C.n.	0	0	0	0	0	0	617	516	600

Рис. Продуктивность ассоциаций осок (с единицы площади) в исследуемых водохранилищах в 2019–2021 гг.

Наиболее продуктивны фитоценозы *Caricetum gracilis* в Нючпасском водохранилище. В этом водоеме ее сообщества формируются на сыром берегу в непосредственной близости от возделываемых удобряемых агроучастков, что способствует увеличению поступления элементов питания в экотоп. Это создает благоприятные условия для накопления биомассы растения.

Наименьший вклад в образование первичной продукции вносит ассоциация *Caricetum nigrae*, ее продуктивность в среднем в 1.7 раз ниже в сравнении с другими осоковыми.

Общая годовая продукция ассоциаций сообществ осок, в зависимости от года, варьировала от 410 до 527 т/год в Кажимском водохранилище, от 155 до 267 – в Нювчимском и от 16 до 21 т/год в Нючпасском, что составило 70–90% от общей годовой продукции, образованной макрофитами.

Таким образом, среди высшей водной растительности ассоциации осок являются основными поставщиками первичной продукции в водоем. Количество продукции зависит от климатических условий и благоприятных условий экотопа.

Литература

1. Егорова Т.В. Осоки (Carex L.) России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия; Сент-Луис: Миссурийский ботанический сад, 1999. 772 с.
2. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л.: Наука, 1981. 187 с.
3. Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.
4. Юдин Ю.П. Производительные силы Коми АССР. Т. 3. Ч. 1. Растительный мир. М.: Из-во АН СССР, 1954. 375 с.

К АНАЛИЗУ ФЛОРЫ ДОЛИНЫ РЕКИ БЕЗЕНЧУК (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.С. Пятаева, В.Н. Ильина

Самарский государственный социально-педагогический университет
E-mail: pyataeva.darya@sgspu.ru

Длительное хозяйственное использование земельных и растительных ресурсов в долинах малых и средних рек на территории Самарской области приводит к существенным экологическим последствиям, в том числе иногда необратимого характера. Уже более 50 лет учеными Самарской (Куйбышевской) области поднимается вопрос охраны рек как в истоках, так и по всей длине. Кроме того, обращается внимание на состояние почвенно-растительного покрова и на водосборах по причине неоспоримой связи компонентов геосистем и бассейнового принципа охраны природных комплексов (Тимофеев, 1971; Матвеев, 1982; Устинова, 1983; Атаджанов и др., 2020).

Одной из таких рек является р. Безенчук, длина которой составляет около 778 км. Река протекает в густо населенных Хворостянском и Безенчукском районах Самарской области и исторически испытывает значительное антропогенное воздействие (Ильина, 2014; Пятаева, Ильина, 2021).

В 2019–2021 гг. проведено изучение флоры и растительности долины р. Безенчук. Основными используемыми методами послужили геоботанические и флористические, по выбранным маршрутам и на стационарных участках.

В настоящее время на территории исследования зарегистрировано 150 видов сосудистых растений. Проведенный анализ флоры позволил установить спектры гигроморф и фитоценотипов (таблицы 1 и 2).

Преобладающими экологическим группами во флоре долины р. Безенчук закономерно являются мезофиты, представленные почти 47% видов. В целом мезофитная группа, включающая также гиромезофиты и ксеромезофиты, составляет более 62% представителей. Ксерофитная группа составляет чуть более 24% зарегистрированных видов. Остальные группы видов представлены меньшим числом таксонов.

Среди установленных фитоценотипов преобладают лесостепные, луговые и лесные растения. Интересным является факт обнаружения горностепных представителей, что обусловлено остепнением луговых участков в ходе длительного выпаса скота.

Анализ флоры долины р. Безенчук свидетельствует о нарушениях в ходе хозяйственной эксплуатации территории, которые привели к сокращению видового разнообразия, увеличению сорно-рудеральных видов и низкой доле редких видов.

Таблица 1

Соотношение экологических групп флоры

Экологические группы	Количество видов	
	абс.	%
Мезофиты	70	46,7
Ксерофиты	19	12,7
Мезоксерофиты	17	11,4
Гигромезофиты	12	8
Ксеромезофиты	11	7,4
Гидрофиты	8	5,3
Гигрофиты	8	5,3
Гелофиты	3	2
Мезогалофиты	1	0,6
Мезогигрофиты	1	0,6

Таблица 2

Спектр фитоценотипов (приуроченность к растительным сообществам)

Фитоценотип	Количество видов	
	абс.	%
Лесостепной	28	18,6
Луговой	26	17,3
Лесной	21	14
Степной	12	8
Лугово-лесной	11	7,3
Сорный	11	7,3
Лугово-степной	9	6
Прибрежно-водный	8	5,4
Водный	6	4
Адвентивный	5	3,6
Лесолуговой	3	2
Лугово-болотный	3	2
Рудеральный и сорно-рудеральный	4	2,36
Горностепной	2	1,3
Болотный	1	0,6

Литература

1. Атаджанов И.Р., Пятаева Д.С., Ильина В.Н. Экологическое состояние малых рек юго-востока Европейской части России (на примере реки Падовки, Самарская область) // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: сб. материалов VII международной заочной научно-практической конференции. Минск: УГЗ, 2020. С. 227-229.
2. Ильина В.Н. Экологическая пластичность флоры Екатериновского залива Саратовского водохранилища в низовьях реки Безенчук // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. Т. 23. № 3. С. 182-189.
3. Ильина В.Н. Роль малых рек Самарского степного Заволжья в сохранении биологического разнообразия (на примере реки Росташи) // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар: КубГАУ, 2021. С. 521-522.
4. Матвеев В.И. Динамика растительности водоемов под влиянием природных и антропогенных факторов (на примере бассейна Средней Волги): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск: ИЭРЖ УНЦ АН СССР, 1982. 33 с.
5. Пятаева Д.С., Ильина В.Н. Особенности природно-территориальных комплексов в долине р. Безенчук и их современное состояние // «Молодежная наука 2021: технологии, инновации», Всероссийская науч.- практическая конф. молодых ученых, аспирантов и обучающихся (2021; Пермь). Всероссийская научно-практическая конференция «Молодежная наука 2021: технологии, инновации», 9-12 марта 2021 г.: [посвящ. Году науки и технологий в РФ: материалы]: В 3 ч. Ч. 1. Пермь: Прокростъ, 2021. С. 320-322.
6. Тимофеев В.Е. Пространственные структуры и динамические тенденции растительности речных долин бассейна Средней Волги: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Л.: БИН АН СССР, 1971. 30 с.
7. Устинова А.А. Растительные компоненты долинно-водосборных геосистем (на примере бассейна Средней Волги): Автореф. дис. … канд. биол. наук. Свердловск: ИЭРЖ УНЦ АН СССР, 1983. 24 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПОЖАРА 2021 ГОДА НА ТЕРРИТОРИИ БУЗУЛУКСКОГО БОРА (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.С. Турушкова

Самарский государственный социально-педагогический университет
E-mail: turushkova.e@sgspu.ru

Воздействие пожаров на природно-территориальные комплексы Поволжья уже длительное время считают катастрофическим, обостряющимся в жаркие и засушливые годы, например в 2010 и 2021 гг. Огневому воздействию подвергаются все экосистемы региона, но особую тревогу вызывает выгорание лесных и степных участков (Ильина, 2011; Вартанян, Ильина, 2020; Ilyina et al., 2020; Ильина, Козловская, 2021).

В Самарском Заволжье произрастает Бузулукский бор – уникальный сосновый массив, обладающий высокой экосистемной, природоохранной, рекреационной и образовательной ролью. Он расположен большей частью в Оренбургской, но восточная часть его находится в Самарской области на территории нескольких муниципальных районов (Борского, Богатовского и Нефтегорского). На территории бора, значительная часть которого входит в состав одноименного национального парка, пожары возникают достаточно часто. Это связано со многими факторами – как метеоусловиями, так и высокой горимостью сосновых насаждений, а также антропогенным фактором (многие пожары возникают по вине человека).

По литературным данным известно, что на территории Бузулукского бора за период с 1953 по 2014 г. произошло 1 523 пожара, при этом пострадали 2 378,39 га лесных насаждений. По годам фиксировалось от 2 до 106 пожаров на площади от 0,1 до 561,47 га (Жамурина, Федоренко, 2015).

Последние годы, примерно в период с 2015 по 2020 г., не являлись критическими, что обусловлено в первую очередь метеоусловиями. Однако в 2021 г. в Бузулукском бору произошел один из крупнейших пожаров за всю обозримую историю, за течением которого следили жители не только Самарской области, но и всей страны.

Возник пожар в Борском участковом лесничестве Самарской области и развивался несколько дней – 21–24 августа 2021 г. Территория пожара затронула 1,5 тыс. га. Развитию пожара способствовали аномально жаркая и сухая погода и резкие порывы ветра до 20 м/с. В результате пожар приобрел глобальные масштабы, был введен режим чрезвычайной ситуации, проведена подготовка к эвакуации населения.

По нашим данным, полученным в предыдущие годы, на территории, охваченной пожаром, основным типом леса являлся сосняк злаковый. Он обычно распространен на мелкобугристом и холмисто-волнистом рельефе, но встречается и в крутобугристых песчаных местообитаниях, на ровных и слабоволнистых территориях. Почвы преимущественно песчаные или супесчаные, сухие, с глубоким уровнем залегания грунтовых вод (20–25 м и более). Насаждения сосны чистые, одноярусные, III–IV класса, реже II класса бонитета. В травянистом покрове основной фон составляли злаки. Травяной покров характеризовался мозаичностью, что зависит от сомкнутости древостоя. В изреженных насаждениях с полнотой ниже 0.7 травяной покров в сообществах сплошной с проективным покрытием от 50 до 100%. В насаждениях с полнотой 0.9–1.0 травяной покров отсутствовал, на почве сформирована лесная подстилка. Отмечались участки, где травяной покров отсутствовал (сосняк мертвопокровный).

В ходе исследований проанализированы данные о природных пожарах на территории «Бузулукского бора», приведены сведения об утрате части лесного массива в Бузулукском бору (РФ) в 2021 г., дано описание основного типа леса, приуроченного к пострадавшей территории, проведены начальные этапы исследования постпирогенных сукцессий.

Среди последствий пожара отмечены полное выгорание древостоя, травяного покрова и почвенного горизонта на некоторых участках; нарушение структуры сообществ; снижение

биологического разнообразия; уничтожение мест обитания редких видов растений и животных. Итогами пожара являются утрата лесных ресурсов, в том числе запаса древесины, а также значительный выброс углерода в атмосферу, который был накоплен лесным массивом.

Литература

1. Вартанян Д.О., Ильина В.Н. Воздействие пирогенного фактора на сосновые леса как негативный фактор повышения уровня углерода в атмосфере (на примере Самарской области, РФ) // Проблемы экологии и экологической безопасности. Создание новых полимерных материалов: сб. материалов VII Международной заочной научно-практической конференции. Минск: УГЗ, 2020. С. 239-242.
2. Жамурина Н.А., Федоренко Д.В. Особенности динамики лесных пожаров на территории национального парка «Бузулукский бор» // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2015. № 4 (54). С. 165-168.
3. Ильина В.Н. Пирогенное воздействие на растительный покров // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2011. Т. 20, № 2. С. 4-30.
4. Ильина В.Н., Козловская О.В. К оценке состояния лесов Среднего Поволжья в условиях пирогенной нагрузки // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Улан-Удэ, 15–18 июня 2021 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. С. 183-185.
5. Ilyina V., Mitroshenkova A., Senator S., Solovyeva V. and Rogov S. Impact of natural fires on the vegetation cover of steppe and forest-steppe zones (European part of Russia, Middle Volga region) // E3S Web of Conferences 265, 01019 (2021), Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM 2021), 5 p. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126501019.

2 СЕКЦИЯ

МЕЗОФАУНА ЗАЛЕЖНЫХ И ЛЕСНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С.Д. Блинов

Сибирский федеральный университет
E-mail: serg-blinov1997@yandex.ru

В настоящее время в России имеется значительная площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. По состоянию на 1 января 2019 г. площадь таких угодий составляла 33.08 млн га, или 16.6% общей площади сельскохозяйственных угодий (Росинформагротех, 2020). Прекращение сельскохозяйственного использования земель приводит к изменению состава растительности, произрастающей на них. В зависимости от окружающих условий, образуется либо луговое, либо лесное сообщество (Hedlund et al., 2003).

Вслед за изменением состава растительности меняются и свойства почв залежных экосистем. Изменение растительности и свойств почвы влияет и на структуру сообществ почвенных организмов – бактерий, грибов и беспозвоночных. Одной из важных частей почвенного биологического сообщества является почвенная мезофауна. Ее обилие и состав существенно зависят от видового и функционального состава растительности (Holtkamp et al., 2008; Frouz et al., 2013). Однако в найденных работах по этой теме изменения в сообществе почвенной мезофауны изучены только для луговых залежных биогеоценозов. Интерес представляет то, как сообщество почвенной мезофауны меняется при зарастании залежных земель древесной растительностью.

Исследования проводились на территории восточной окраины Кемчугской возвышенности, расположенной на границе южной тайги и Красноярской лесостепи. Для исследования было выбрано три биогеоценоза: 1) травянистая залежь возраста 15 лет, постепенно зарастающая сосной; 2) сосняк возраста 15 лет, мертвопокровный, имеющий с залежью общую границу; 3) сосняк возраста 50 лет, мертвопокровный, расположен в той же местности, что и два других биогеоценоза.

В пределах выбранных биогеоценозов было заложено пять пробных площадок: а) участок залежи с нескашиваемой травой («нескошенная залежь»); б) участок залежи с регулярно скашиваемой травой («скошенная залежь»); в) экотон между скошенной залежью и 15-летним сосняком; г) участок в 15-летнем сосняке; д) участок в 50-летнем сосняке. На этих участках после забора образцов в лабораторных условиях определялся состав почвенной мезофауны верхних 10 см почвы.

Численность как мезофауны в целом, так и отдельных ее групп существенно различается для различных пробных площадок. На нескошенной залежи ее значение (453.33 экз./м^2) более чем в полтора раза превосходит численность на скошенной залежи (280 экз./м^2). Нескошенная залежь существенно превосходит по численности мезофауны лесные биогеоценозы, а скошенная залежь превосходит по этому показателю 15-летний сосняк (86.67 экз./м^2) и лишь немного отстает от 50-летнего сосняка (300 экз./м^2). На экотоне численность мезофауны (120 экз./м^2) несколько больше, чем в 15-летнем сосняке, однако значительно меньше, чем на залежных участках.

Различаются участки и по численности отдельных представителей мезофауны – дождевых червей, энхитреид, личинок насекомых и прочих животных данной размерной группы.

Так, на участке в 50-летнем сосняке больше дождевых червей (40 экз./м^2), чем на залежных участках (13.33 экз./м^2 – скошенная залежь, 20 экз./м^2 – нескошенная) и экотоне (6.67 экз./м^2). При этом в почве и подстилке 15-летнего сосняка дождевые черви вообще не были обнаружены. Скорее всего, различия в численности связаны с разным количеством растительного опада. Энхитреиды не обнаружены в лесной подстилке обоих лесных сообществ и в почве 15-летнего сосняка. Их количество невысоко в почве 50-летнего сосняка (6.67 экз./м^2) и экотона (6.67 экз./м^2), более высоко – в почве залежных участков (26.67 экз./м^2 – скошенная залежь, 20 экз./м^2 – нескошенная). Можно предположить, что залежные почвы более благоприятны для энхитреид, чем почвы под сосняками.

По абсолютной численности личинок насекомых (133.33 экз./м^2) скошенная залежь также превосходит все другие участки – при этом отличие от другого залежного участка более выраженно, чем в случае энхитреид. Это связано, скорее всего, с большим количеством естественных врагов насекомых (пауков и многоножек) на нескошенной залежи. В 50-летнем сосняке и нескошенной залежи численность личинок одинакова (93.33 экз./м^2). Меньше их на экотоне (53.33 экз./м^2), еще меньше – в пробах из 15-летнего сосняка (46.67 экз./м^2).

Помимо указанных групп мезофауны (червей и личинок насекомых), на данных участках были обнаружены многоножки (костянки и геофилы), пауки, яйца насекомых, личинки мух, взрослые жуки (стафилиниды), клопы и муравьи, а также улитки. Следует отметить, что геофильные многоножки и улитки были обнаружены только на одном из пяти участков – на нескошенной залежи. Первые, вероятно, были привлечены сочетанием повышенной влажности (на которую указывало наличие мха, отсутствовавшего на другом залежном участке) и обилия других беспозвоночных, вторые – сочетанием повышенной влажности и обилия травянистой растительности.

Таким образом, численность мезофауны в целом и отдельных ее групп падает при переходе от залежи к молодому сосняку и вновь возрастает в более зрелом сосняке. Дождевые черви более многочисленны в 50-летнем сосняке, энхитреиды – на залежи. Среди залежных участков численность мезофауны больше на нескошенной залежи, чем на скошенной, что может быть связано как с отсутствием антропогенного вмешательства, так и с другими факторами (например, более высокой влажностью). При этом большее количество одних представителей мезофауны (пауки и многоножки) может приводить к меньшей численности других (насекомые).

Литература

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 340 с.
2. Frouz J., Frouz J., Thébault E. et al. Soil food web changes during spontaneous succession at post mining sites: A possible ecosystem engineering effect on food web organization? // PLoS One, 2013. No. 8. e79694.
3. Hedlund K., Santa Regina I., Van der Putten W. H. et al. Plant species diversity, plant biomass and responses of the soil community on abandoned land across Europe: Idiosyncracy or above-below-ground time lags // Oikos, 2003. No. 103. P. 45-58.
4. Holtkamp R., Kardol P., van der Wal A. et al. Soil food web structure during ecosystem development after land abandonment // Applied Soil Ecology, 2008. No. 39. P. 23-34.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СИГОВЫХ РЫБ В ОЗЕРАХ БАССЕЙНА Р. АМГУЭМА (ВОСТОЧНАЯ ЧУКОТКА)

М.В. Бурмагин[1,2], А.П. Новосёлов[1], О.В. Аксёнова[1], А.В. Кондаков[1], И.В. Вихрев[1]

[1]Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН
E-mail: 98maxbur12@gmail.com
[2]Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

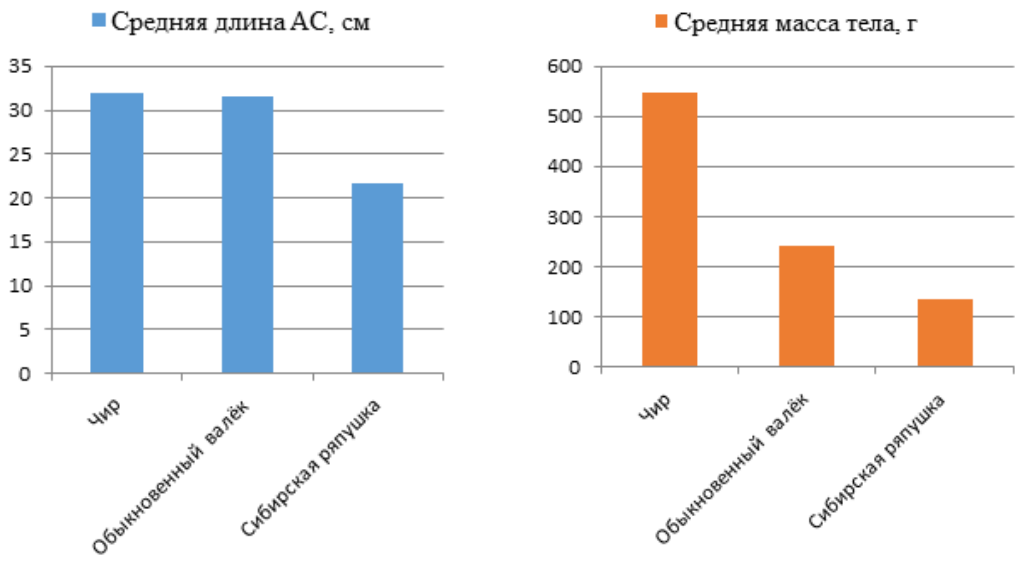
Известно, что структура популяции специфична для вида и его отдельных стад. Она является видовым и популяционным свойством, отражающим характер взаимосвязей вида со средой, и обладает известной стабильностью. В то же время, поскольку вид существует в непрерывно меняющихся условиях, структура популяции также меняется в определенных пределах, адаптивно отвечая на изменение условий жизни (Никольский, 1974). В конкретном выражении структура вида или отдельных его популяций в разных точках ареала представлена характером и сроками наступления половой зрелости, соотношением половозрелой и неполовозрелой части популяций, а также соотношением полов. Она включает основные биологические параметры рыб (размерно-массовый, половой состав, соотношение полов, темп линейного и массового роста).

В данной работе представлен материал по основным биологическим параметрам сиговых видов рыб: чира *Coregonus nasus* (Pallas, 1776), обыкновенного валька *Prosopium cylindraceum* (Pennant, 1784) и сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Valenciennes, 1848), которые были отловлены в июле 2019 г. в результате проведения гидробиологических исследований в озерах бассейна р. Амгуэма в Чукотском автономном округе. При сборе полевого материала использовались как активные (мальковый невод длиной 30 м с размером ячеи в кутке 10 мм), так и пассивные орудия лова (ставные сети с размером ячеи 36–40 мм). Всего собрано и обработано 43 экземпляра разных видов рыб. Систематический статус рыб представлен в соответствии с «Атласом пресноводных рыб России» (2003). Биологический анализ проведен на свежем материале по методике Правдина (1966). У пойманных рыб измеряли длину тела (АС) в см (от вершины рыла до выемки хвостового плавника), взвешивали массу тела, визуально определяли пол и стадию зрелости гонад в баллах. В работе использовались методы вариационно-статистической оценки собранного материала (Никольский, 1971). Обработка статистической информации проводилась с применением стандартных программ (Microsoft Excel).

Анализ размерного и весового состава сиговых видов рыб в озерах бассейна р. Амгуэма показал, что особи *чира* имели среднюю длину (АС) тела, равную 31.9 см (min – 20 см и max – 48.5 см) и среднюю массу тела – 548 г (min – 79 г и max – 1907 г), объем выборки составил 17 экз. Проанализированные особи *обыкновенного валька* имели среднюю длину тела – 31.5 см (min – 24.4 см и max – 54.2 см) и среднюю массу тела – 241.6 г (min – 118 г и max – 524 г), выборка составляла 19 экз. Особи *сибирской ряпушки* имели среднюю длину тела – 21.6 см (min – 14.7 см и max – 35.7 см) и среднюю массу тела – 135 г (min – 27 г и max – 445 г), выборка составляла 7 экз.

Осредненные показатели линейно-весовых параметров сиговых видов рыб представлены на рисунке.

Соотношение полов сиговых рыб в озерах бассейна р. Амгуэма составляло для *чира* в целом – 1.0:1.3 (самцов 43.7% и самок 56.3%) и характеризовалось незначительным преобладанием самок. У *обыкновенного валька* количество самок уже значительно превышало количество самцов – 1.0:1.7 (самцов 36.8% и самок 63.2%). У *сибирской ряпушки* самки преобладали над самцами в 2.5 раза – 1.0:2.5 (самцов 28.6% и самок 71.4%). Половозрелая часть популяций сиговых видов рыб в период проведения исследований была представлена самцами и самками во II стадии зрелости половых гонад (таблица).



А Б

Рис. Линейные (А) и весовые (Б) параметры сиговых рыб в озерах бассейна р. Амгуэма.

Таблица

Половая структура сиговых видов рыб в озерах бассейна р. Амгуэма

Пол	Виды рыб		
	Чир	Обыкновенный валёк	Сибирская ряпушка
Самцы, %	43.7	36.8	28.6
Самки, %	56.3	63.2	71.4
Соотношение полов (♂ : ♀)	1.0:1.3	1.0:1.7	1.0:2.5
Стадии зрелости гонад	II	II	II

Динамика биологических параметров сиговых видов рыб в озерах бассейна р. Амгуэма в многолетнем аспекте может быть использована для оценки его современного состояния в условиях общего загрязнения бассейна. Полученные данные могут служить основой для расчета численности видов, формирования на оптимальном уровне промыслового запаса, а также разработки путей его рационального использования.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 122011800593-4) и РНФ (проект № 19-14-00066).

Литература

1. Атлас пресноводных рыб России / Под ред. Ю.С. Решетникова. М.: Наука, 2003. Т. 1. 378 с.
2. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб. - М.: Пищевая промышленность, 1974. 445 с.
3. Никольский Г.В. Частная ихтиология. М.: Высшая школа, 1971. 443 с.
4. Плохинский Н.А. Биометрия. Новосибирск: Наука, 1971. 364 с.
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. 376 с.

ФАУНА ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ (COPEPODA) И МАЛОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ (OLIGOCHAETA) РЕК ВЫЧЕГОДСКОГО БАССЕЙНА В МЕСТАХ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД: СОСТАВ, ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И БАРКОДИРОВАНИЕ ВИДОВ

М.А. Голубев[1], А.С. Бакашкина[1], Е.Б. Фефилова[2], М.А. Батурина[2], И.О. Велегжанинов[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: maksim.golubev.21@mail.ru
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Современная биогеография и филогеография фауны пресных вод сталкивается с необходимостью учета важнейшего модуса формирования биоразнообразия в новейшей истории – деятельности человека, резко увеличившей вероятность случайного или преднамеренного вселения чужеродных организмов в новые местообитания (Карабанов и др., 2020). Урбанизация и промышленная деятельность способствуют быстрому распространению мелких водных беспозвоночных и изменению регионального биоразнообразия гидроэкосистем. В настоящее время микроракообразные: ветвистоусые (Cladocera) и веслоногие (Copepoda), являются общепризнанной модельной группой для изучения биологических инвазий (Карабанов и др., 2020; Фефилова и др., 2021).

В 2018–2020 гг. в реках Вычегда и Сысола (бассейн Северной Двины) регистрировали новые для Республики Коми виды веслоногих раков: *Elaphoidella bidens* (Schmeil), *Phyllognatopus viguieri* (Maupas), *Paracyclops imminutus* (Kiefer). Эти рачки были найдены исключительно в зонах сброса условно-чистых сточных вод лесоперерабатывающего предприятия (АО «Монди СЛПК») или городских стоков Сыктывкара (Фефилова и др., 2021). Целью данной работы было изучение состава фауны зоопланктона и зообентоса рек Вычегодского бассейна в местах сброса подогреваемых сточных вод, в том числе с применением молекулярно-генетического анализа модельных видов ракообразных (Copepoda) и малощетинковых червей (Oligochaeta).

Материалом для исследований послужили гидробиологические сборы (пробы зоопланктона и зообентоса) из р. Сысола, собранные в период с 31 марта по 11 августа 2021 г. Температура воды в месте отбора составляла в разные месяцы от 11–14 до 32 °С, температура сточных вод – от 14 до 46 °С. Пробы зоопланктона фиксировали в поле 4% раствором формальдегида, пробы зообентоса без фиксации просматривали в лаборатории, где живых ракообразных и червей фиксировали 96% этиловым спиртом для последующего молекулярно-генетического исследования. Материалом для молекулярно-генетического исследования *Elaphoidella bidens* (Harpacticoida) послужили ПЦР-продукты ДНК особей из р. Вычегда, озер Глубокое и Пааярви (Финляндия), собранных ранее, в 2020 и 2017 гг. (Фефилова и др., 2021). Для сравнения особей модельных видов по молекулярно-генетическим маркерам использованы собственные данные, полученные из спиртовых проб ракообразных из дельты р. Лена, плато Путорана (Восточная Сибирь) и данные баз GenBank и BOLD. Пробы из Сибири были предоставлены А.А. Новиковым (Казанский федеральный университет) и Е.С. Чертопруд (МГУ им. М.В. Ломоносова).

Лабораторная обработка фиксированных и живых проб для выявления состава фауны проводилась по стандартным методикам. В пробах зоопланктона до вида определяли коловраток (Rotifera), ветвистоусых (Cladocera) и веслоногих ракообразных (Copepoda). Из проб зообентоса идентифицировали копепод и малощетинковых червей рода *Tubifex*. Для молекулярно-генетического анализа использовали фрагмент гена первой субъединицы цитохромоксидазы митохондриальной ДНК (COI) и ген РНК малой рибосомной субъединицы 18S. Выделение ДНК, ПЦР и подготовку ампликонов проводили на базе ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Секвенирование ампликонов осуществлялось в ЦКП «Геном» Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН. Полученные нуклеотидные последовательности выравнивали с применением алгоритма ClustalW и анализировали

в программном пакете Unipro UGENE V41.0. Анализ генетических баркодов ракообразных и малощетинковых червей включал сравнение их с аналогичными данными родственных таксонов с помощью филогенетических деревьев и попарных генетических дистанций.

В результате обработки проб зоопланктона было выявлено 18 видов коловраток и микроракообразных. Большинство обнаруженных видов обычны для Вычегодского бассейна и Республики Коми. Редким для данного региона в планктонных пробах был циклопоидный рачок *P. imminutus.* Наряду с *Bryocamptus vejdovskyi* (Mrázek) (Harpacticoida) и ювенильных *Tubifex sp.* (Oligochaeta) (из проб зообентоса) этот вид был выбран для молекулярно-генетических исследований.

Всего были получены данные по нуклеотидным последовательностям COI четырнадцати особей. Длина последовательностей составляла 600–700 пар нуклеотидов. Установлены достоверные различия в структуре COI *P. imminutus* из р. Сысола и других циклопоид родов *Paracyclops, Cyclops, Acanthocyclops.* Ближе всего по генетическим дистанциям и положению на филогенетическом дереве найденный нами вид оказался к *Paracyclops chiltoni* (Thomson G.M.) из Ирана, тогда как широко представленный в Вычегодском бассейне *Paracyclops fimbriatus* Kiefer, например, образовал отдельную кладу и группу на тепловой карте генетических дистанций.

В результате анализа филогенетического дерева гарпактикоид рода *Bryocamptus* показано, что особи из р. Сысола, идентифицированные как *B. vejdovskyi*, образовали общую кладу с бриокамптусами того же вида из дельты р. Лена и плато Путорана.

В результате дополнения ранее полученных результатов (Фефилова и др., 2021) по филогеографии гарпактикоиды *E. bidens* данными по структуре гена 18S (длиной около 1830 п.н.) подтверждено наличие относительно высокой генетической дистанции между особями из Республики Коми и Московской области.

Согласно сравнению сиквенсов неполовозрелых *Tubifex* из р. Сысола с данными из GenBank, они принадлежали к виду *Tubifex tubifex* (Müller), широко распространенному индикатору антропогенного эвтрофирования водоемов и их органического загрязнения.

Таким образом, получены новые данные по составу фауны гидробионтов биотопов Вычегодского бассейна, находящихся под антропогенным воздействием, а также дополнена информация по филогеографии обычных и редких видов микроракообразных и олигохет.

Работа выполнена в рамках темы НИР отдела экологии животных ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (рег. номер 1021051101423-9-1.6.12;1.6.13;1.6.14).

Литература

1. Карабанов Д.П., Беккер Е.И., Котов А.А. Недоучет последствий биологических инвазий в филогеографических реконструкциях на территории распространения Daphnia magna (Crustacea, Cladocera) // Зоологический журнал, 2020. Т. 99. № 11. С. 1232-1241.
2. Фефилова Е.Б., Расова Е.Е., Велегжанинов И.О. Исследования морфологии и генетики веслоногих раков (Copepoda) в зонах теплового загрязнения рек Республики Коми // Сибирский экологический журнал, 2021. Т. 28. №. 6. С. 737-744.

ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ (OLIGOCHAETA, LUMBRICIDAE) ЛЕСОСТЕПНОГО ПРИОБЬЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ: БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, КОМПЛЕКСЫ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ, ПОЛИМОРФИЗМ

С.А. Ермолов[1], С.В. Шеховцов[2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
E-mail: ermserg96@gmail.com
[2]Институт цитологии и генетики СО РАН

Среди разнообразия педобионтов дождевые черви особо выделяются как важнейшая группа почвенных экосистемных инженеров. Разные виды дождевых червей используются как индикаторы в зоологической диагностике почв (Гиляров, 1965). Помимо видового состава дождевых червей, важно оценивать и разнообразие их жизненных форм, которые выделены на основании анатомо-морфологических особенностей, специфики питания и образа жизни (Перель, 1975). Совокупность всех жизненных форм дождевых червей, населяющих конкретный биотоп, получила название «комплекс жизненных форм», в котором представители каждой формы выполняют определенные функции (Гераськина, 2016). Также дождевые черви по-прежнему остаются сложной группой для систематиков из-за высокой изменчивости многих морфологических признаков. У ряда видов были обнаружены полиморфизм, партеногенетические и полиплоидные расы, что способствовало применению к изучению дождевых червей методов цитогенетики и молекулярной биологии (Шеховцов и др., 2017). Разнообразные исследования дождевых червей проводились во многих регионах России, особенно на территориях Русской равнины, Урала, Северо-Западного Кавказа и Дальнего Востока. В Западной Сибири, в частности в лесостепном Приобье Новосибирской области, подобных исследований до недавнего времени почти не было. Цель данной работы – провести сравнительный анализ населения дождевых червей лесостепного Приобья Новосибирской области в местообитаниях с различными эколого-географическими характеристиками и выявить взаимосвязь его состава с некоторыми факторами среды обитания.

Учеты дождевых червей в почве и валежнике разных стадий разложения проводились в 2018–2020 гг. в речных поймах, сосновых и мелколиственных лесах и в антропогенных местообитаниях. Также были проведены измерения некоторых физико-химических свойств почвы: мощности подстилки, гумусового горизонта, кислотности и влажности. В каждой группе местообитаний выполнена классификация сообществ дождевых червей по составу жизненных форм с помощью кластерного анализа в программе *Past 3.25*. Для полиморфных видов дождевых червей были проведены морфометрический анализ и анализ изменчивости митохондриального гена цитохромоксидазы I (*cox1*).

В ходе исследования нами были отмечены как виды-космополиты: *Aporrectodea caliginosa, Aporrectodea rosea, Dendrobaena octaedra, Dendrodrilus rubidus, Eisenia fetida, Eiseniella tetraedra, Lumbricus rubellus, Lumbricus terrestris, Octolasion lacteum*, так и виды (подвиды), наиболее характерные для юга Западной Сибири: *Eisenia balatonica, Eisenia nordenskioldi nordenskioldi, Eisenia nordenskioldi pallida*.

В населении дождевых червей лесостепного Приобья Новосибирской области заметно преобладают собственно-почвенные жизненные формы, причем в сообществах лесов и антропогенных местообитаний среднеярусные (*A. caliginosa и E. n. pallida*), а в пойменных сообществах – верхнеярусные (*O. lacteum*). В некоторых сообществах, особенно лесных, значительную долю населения составляют подстилочные и почвенно-подстилочные черви (*D. octaedra, L. rubellus, E. n. nordenskioldi*). В целом видовой состав дождевых червей довольно сходен во всех группах местообитаний, однако плотность отдельных видов существенно различается. Наибольшие показатели плотности населения дождевых червей отмечены в речных поймах, наименьшие – в сосновых лесах. Среди исследованных сообществ дождевых червей лесно-

го валежника были выделены три группы по соотношению жизненных форм: сообщества с преобладанием подстилочных форм, с преобладанием почвенно-подстилочных форм и с присутствием собственно-почвенных форм. Примечательно, что при одинаковом соотношении жизненных форм сообщества валежных червей в пределах одной группы могут значительно различаться по видовому составу.

Согласно морфометрическому анализу, среди особей *E. n. nordenskioldi* и *O. lacteum* достоверно выделяются крупная и мелкая размерные формы. Мелкие формы *E. n. nordenskioldi* являются типичными почвенно-подстилочными червями, населяющими почву и валежник; крупная форма, возможно, является норной. Крупные и мелкие формы *O. lacteum* – это собственно-почвенные верхнеярусные черви, которые относятся к разным генетическим линиям, что было доказано при изучении изменчивости их гена *cox1* (Шеховцов и др., 2020). В ранних исследованиях в пределах подвида *E. n. nordenskioldi* было выявлено девять разных генетических линий, четыре из которых отмечены в Новосибирской области (Шеховцов и др., 2017). Но взаимосвязь их морфологических и генетических различий пока не исследована.

При анализе взаимосвязи плотности населения дождевых червей с измеренными физико-химическими свойствами почвы нами подтверждено, что наиболее значимым фактором для подстилочных и почвенно-подстилочных жизненных форм является влажность почвы, особенно в сосновых и мелколиственных лесах (Ермолов, 2020). Значительного влияния каких-либо физико-химических свойств почвы на плотность населения собственно-почвенных дождевых червей в целом обнаружено не было. Корреляции этих форм с влажностью почвы и мощностью гумусового горизонта отмечены в лесах и на антропогенных территориях, но по большей части оказались статистически незначимыми. У некоторых видов наблюдались частные корреляции: например, плотность населения подстилочного *D. octaedra* в речных поймах зависит от мощности растительной подстилки, так как в лесных местообитаниях этот вид в основном населяет валежник, зачастую отсутствующий в поймах. Почвенно-подстилочный *L. rubellus* зависит от кислотности почвы – вид встречается в кислых почвах, однако наибольшей численности достигает в нейтральных и слабощелочных. У полиморфного собственно-почвенного *O. lacteum* различия в размерно-весовых параметрах в пределах одной генетической линии обусловлены влажностью почвы и мощностью гумусового горизонта.

Главное отличие природных комплексов жизненных форм дождевых червей в лесостепном Приобье Новосибирской области от таковых Европейской части России и Дальнего Востока – это отсутствие норных червей (если не считать таковым крупную форму *E. n. nordenskioldi*). Лишь в антропогенных местообитаниях редко встречается типичный представитель норных форм *Lumbricus terrestris*.

Литература

1. Гераськина А.П. Экологическая оценка динамики комплекса дождевых червей (Lumbricidae) в ходе восстановительных сукцессий: монография. Смоленск: Изд. СГМУ, 2016. 149 с.
2. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 280 с.
3. Ермолов С.А. Сообщества дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) хвойных и мелколиственных лесов лесостепного Приобья // Вопросы лесной науки, 2020. Т. 3. № 2. С. 1–24.
4. Перель Т.С. Жизненые формы дождевых червей (Lumbricidae) // Журнал общей биологии, 1975. Т. 36. № 2. С. 189–202.
5. Шеховцов С.В., Берман Д.И., Голованова Е.В., Пельтек С.Е. Генетическое разнообразие дождевого червя Eisenia nordenskioldi (Lumbricidae, Annelida) // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2017. Т. 21. № 5. С. 588–595.
6. Шеховцов С.В., Ермолов С.А., Держинский Е.А., Полубоярова Т.В., Ларичева М.С., Пельтек С.Е. Генетическая и размерная изменчивость Octolasion tyrtaeum (Lumbricidae, Annelida) // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции, 2020. Т. 6. № 1. С. 5–9.

КАКИЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ ПИТАЮТСЯ МИЦЕЛИЕМ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ В ХВОЙНОМ ЛЕСУ? ПОЛЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

А.Г. Зуев

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова
E-mail: agzuev.sevin@gmail.com

Мицелий микоризных грибов составляет большую часть биомассы почвенных микроорганизмов хвойных лесов (Hagenbo et al., 2018). Микоризные грибы участвуют в снабжении растений водой и минеральным питанием, а также активно участвуют в процессах трансформации и перераспределения почвенного органического вещества, непосредственно включаясь в циклы углерода и азота (Clemmensen et al., 2013).

В хвойных лесах бореальной зоны мицелий микоризных грибов представляет собой значительные биомассу и некромассу, являющиеся пищевым субстратом для многих почвенных организмов, в частности, беспозвоночных животных. Продукция мицелия микоризных грибов в хвойном лесу составляет до 0.8 мг $г^{-1}$ в год (Wallander et al., 2013; Zuev et al., 2019). Несмотря на обилие, особенности химического состава грибного мицелия, в частности, присутствие значительного количества химически устойчивых меланинов и хитина в клеточных стенках, делают его доступным лишь для ограниченного числа почвообитающих организмов. Адаптации беспозвоночных животных к питанию грибным мицелием включают в себя специфическое строение ротового аппарата, и устойчивость к микотоксинам.

В лабораторных экспериментах традиционно рассматривалось питание почвенных беспозвоночных сапротрофными микромицетами. Питание мицелием микоризных грибов в настоящее время напрямую показано лишь для некоторых групп почвенной фауны, например нематод или протур. В то же время вопрос питания мицелием микоризных грибов многих из наиболее многочисленных и изучаемых групп почвенных беспозвоночных (в том числе клещей и коллембол) остается дискуссионным.

В данной работе была применена методика изотопного мечения ($^{13}CO_2$) в полевом эксперименте, проведенном в хвойных лесах Европейской части России с целью выявления таксонов почвенных беспозвоночных, имеющих непосредственные трофические связи с мицелием микоризных грибов.

Исследования были проведены на базе двух модельных ельников, расположенных в буферной зоне Центрального лесного государственного заповедника (биостанция ИПЭЭ РАН «Оковский лес», Тверская область, и окрестности биостанции ИПЭЭ РАН «Малинки», Московская область). На территории каждого ельника были выбраны по одной паре елей высотой около 5 м, использовавшихся в качестве экспериментальной и контрольной соответственно. Площадки радиусом 2.5 м были опоясаны траншеями глубиной 50 см вокруг каждого выбранного дерева. Под каждую ель были помещены вегетационные мешочки (in-growth mesh bags, Wallander et al., 2001), наполненные просеянной почвой из верхних 15 см профиля (600 г; W = 30%, n = 9). Также на каждой площадке разместили по девять вегетационных мешочка, наполненных чистым кварцевым песком (700 г, воздушно-сухая масса) с целью получения биомассы мицелия микоризных грибов. Размер ячеи полиэфирной ситовой ткани, из которой были изготовлены мешочки, составлял 46 мкм, что препятствовало как проникновению внутрь мешочков корней растений, так и миграции животных через стенку мешочка.

После одного года экспозиции вегетационных мешочков в почве вокруг каждого дерева был построен парник из пластиковых труб, покрытый плотной полиэтиленовой пленкой. Пятнадцать литров 99 AT% $^{13}C–CO_2$ было запущено в каждый парник сразу после его постройки. Парник был разобран через 48 ч. Вегетационные мешочки отбирались сериями по три, наполненные каждым субстратом, на 15, 30 и 45-е сутки экспозиции. Был проанализирован изотопный состав мицелия микоризных грибов, проведены групповая идентификация и после-

дующий изотопный анализ почвенных беспозвоночных животных. Был проанализирован таксономический состав мицелия микоризных грибов с использованием секвенирования нового поколения (NGS, участок ITS 18S-5.8S рРНК).

Мицелий микоризных грибов был более чем на 90% прочтений представлен родами *Amphinema, Lactarius, Leccinum, Russula, Tomentella, Tylospora* и *Wilcoxina*, обычными для почв изучаемых ельников. Мицелий микоризных грибов был значимо обогащен ^{13}C по сравнению с контролем уже через 15 суток после мечения, однако 100% проб мицелия оказались помечены только через 45 суток.

Беспозвоночные, экстрагированные из вегетационных мешочков, наполненных почвой, принадлежали к 12 порядкам, включая пять семейств орибатид, четыре семейства коллембол и три семейства двукрылых. Величины $\delta^{13}C$ у 32% проанализированных проб беспозвоночных животных, включавших одну или несколько особей одного таксона, свидетельствовали о наличии в них ^{13}C-метки, свидетельствующей о питании мицелием микоризных грибов. Метка была обнаружена у девяти таксонов почвенных беспозвоночных, включая два семейства орибатид (Oppiidae и Pthiracaridae) и три семейства коллембол (Isotomidae, Entomobryidae и Onychiuridae). Наибольшее обогащение ^{13}C было отмечено у хищников – пауков, литобиид и личинок двукрылых семейства Empididae, а также у орибатид семейства Oppiidae. Также метка была отмечена для энхитреид и люмбрицид.

Полученные результаты свидетельствуют о присутствии мицелия микоризных грибов в питании достаточно большого количества почвенных беспозвоночных, специализация на потреблении данного субстрата может быть отслежена на уровне семейства. Присутствие ^{13}C-метки в тканях хищных беспозвоночных свидетельствует о поступлении «микоризного» углерода на более высокие уровни почвенных пищевых сетей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-34-90088).

Литература

1. Clemmensen, K.E., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R.D., Wardle, D.A., Lindahl, B.D. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest // Science, 2013. V. 340. P. 1615–1618.
2. Hagenbo, A., Kyaschenko, J., Clemmensen, K.E., Lindahl, B.D., Fransson, P. Fungal community shifts underpin declining mycelial production and turnover across a Pinus sylvestris chronosequence // J. Ecol., 2018. V. 106. P. 490–501.
3. Wallander, H., Ekblad, A., Godbold, D.L., Johnson, D., Bahr, A., Baldrian, P., Björk, R.G., Kieliszewska-Rokicka, B., Kjøller, R., Kraigher, H., Plassard, C., Rudawska, M. Evaluation of methods to estimate production, biomass and turnover of ectomycorrhizal mycelium in forests soils - A review // Soil Biol. Biochem., 2013. V. 57. P. 1034–1047.
4. Wallander, H., Nilsson, L.O., Hagerberg, D., Bååth, E. Estimation of the biomass and seasonal growth of external mycelium of ectomycorrhizal fungi in the field // New Phyt., 2001. V. 151. P. 753–760.
5. Zuev, A.G., Khmeleva, M.V., Tiunov, A.V. Collecting fungal mycelium using in-growth mesh bags: Effects of the sand particle size and seasonality // Pedobiol., 2019. V. 77. P. 150591.

СТИМУЛИРОВАНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АКТИВНОСТИ У МАЛОГО ТОЛСТОГО ЛОРИ В МОСКОВСКОМ ЗООПАРКЕ

А.В. Кизик[1], Н.А. Веселова[1], С.А. Хлюпин[2]

[1]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
[2]ГАУ «Московский зоопарк»
E-mail: hidarugami.j@gmail.com

Сокращение биоразнообразия является одной из глобальных проблем человечества, при этом наиболее уязвимыми оказываются виды с низкой численностью и небольшим ареалом.

Малый толстый лори *Nycticebus pygmaeus* Bonhote, 1907 – ночной мокроносый примат из семейства Лориевые (Lorisidae Gray, 1821), обитающий на территории Камбоджи, Лаоса, Вьетнама и Китая (Byczyk et al., 2021). Согласно списку угрожаемых видов МСОП, численность малого толстого лори в природе стремительно сокращается (IUCN Red List of Threatened Species). Основную угрозу для него представляют утрата среды обитания и фрагментация ареала, связанные с антропогенной нагрузкой, а также незаконный отлов животных (Osterberg, Nekaris, 2015). Изъятые из природы животные нередко попадают в зоопарки, в связи с чем встает вопрос о создании подходящих для них искусственных условий, дающих возможность реализовывать естественное поведение. Цель работы – стимуляция естественного поведения у малых толстых лори за счет изменений фотопериода в Московском зоопарке.

Наблюдения проводили с 4 июня 2021 г. по 28 января 2022 г. в отделе «Приматы» Московского зоопарка. В качестве объектов исследования была выбрана пара малых толстых лори: самец (7 лет) и самка (6 лет). Оба лори родились в искусственных условиях и были переданы в Московский зоопарк в 2016 г. Животных содержали во внутренних вольерах, размеры которых составляли 1.15×1.5×1.15×2.0×2.0 м и 2.5 м в высоту. В октябре 2020 г. цикл освещения вольеров был настроен таким образом, чтобы имитировать естественные сезонные изменения длины светового дня во Вьетнаме. Для освещения использовали светодиодные прожекторы с зеленым фильтром. Средняя температура воздуха составила 24–25 °C, влажность – 60–70%. Рацион животных включал овощи, фрукты, гуммиарабик, насекомых (мучные черви, саранча, сверчки) и специальный корм для обезьян Нового Света (Mazuri). Наблюдения вели методом временных срезов (Altmann, 1974) с 5-минутным интервалом по 6 ч. в день, 2 дня в неделю. Для определения статистически значимых изменений в поведении использовали U-критерий Манна-Уитни. Обработку материала проводили в программах Microsoft Excel 2016 и Statistica ver. 12.

На рисунке представлен график, отражающий изменения активности малых толстых лори вне укрытия.

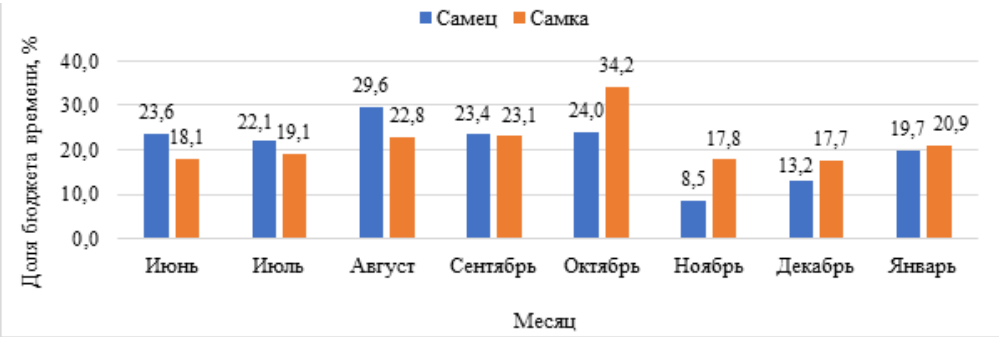


Рис. Изменение активности животных, %; * – разница достоверна по критерию Манна-Уитни, $p < 0.05$.

Самец был наиболее активен в августе, причем это был самый активный период за все лето по сравнению с июнем ($U=11$, $p<0.05$) и июлем ($U=7$, $p<0.05$). В ноябре наблюдался резкий спад активности на 15.5%. В последующие месяцы активность животного стала постепенно

возрастать, в целом существенно не отличаясь от летних и осенних показателей, за исключением августа (сравнение с декабрем (U=3, p<0.01)) и ноября (сравнение с декабрем (U=7, p <0.05) и январем (U=11, p <0.05)). У самки также наблюдалось повышение активности в августе по сравнению с июнем (U=10, p<0.05). Однако наибольшую активность животное демонстрировало в октябре. Резкий спад активности на 16.4% (U=10, p<0.05) так же, как и у самца, приходится на ноябрь, после чего не отмечается статистически значимых изменений активности.

Имитация сезонных изменений фотопериода в вольере малых толстых лори была направлена на стимулирование у них соответствующих сезонных колебаний активности. Для Северного Вьетнама характерен муссонный климат с холодной сухой зимой (минимальные температуры фиксируются с декабря по февраль) и жарким влажным летом (максимальные температуры отмечаются в июне и июле) (Nguyen et al., 2000). У малых толстых лори в Московском зоопарке наблюдалось резкое снижение активности в ноябре, т.е. как раз перед условным «холодным сезоном», а также относительно низкая активность в зимние месяцы. Повышение активности было обусловлено ростом потребления корма и приходилось на конец лета (во Вьетнаме август, как правило, наименее жаркий месяц лета) либо на середину осени (после октября обычно наступают холода). Похожие закономерности отмечались у животных, содержавшихся в реабилитационном центре на севере Вьетнама (Streicher, 2004).

В заключение стоит отметить, что освещение является одним из важнейших факторов среды при содержании ночных полуобезьян в неволе. Поскольку малые толстые лори в природе размножаются сезонно, использование естественного освещения (или его имитации) позволяет повысить предсказуемость паттернов размножения, точнее определять наступление беременности, а значит, обеспечить необходимый уход за самкой (Fitch-Snyder, 2020). Учитывая, что в рамках Европейской программы по сохранению вымирающих видов для лори из 4-х видов планируется увеличение численности только малых лори, изучение влияния циклов освещения на физиологию и поведение этих животных особенно важно (Byczyk et al., 2021).

Литература

1. Altmann J. Observational study of behavior: sampling methods // Behaviour, 1974. № 49. P. 227–265.
2. Byczyk K. et al. Long-term management plan for the Pygmy slow loris, Bengal slow loris, Sunda slow loris and Slender loris (*Nycticebus pygmaeus, Nycticebus bengalensis, Nycticebus coucang and Loris lydekkerianus*) EAZA Ex situ Programmes (EEP). Amsterdam: EAZA, 2021. 21 p.
3. Fitch-Snyder H. Husbandry and Reproductive Management Recommendations for Captive Lorises and Pottos (*Nycticebus, Loris* and *Perodicticus*)// Evolution, Ecology and Conservation of Lorises and Pottos. Cambridge, 2020. P. 263–275.
4. Nguyen K.V. et al. Bioclimatic Diagrams of Vietnam. Hanoi: Vietnam National University Publishing House, 2000. 126 p.
5. Osterberg P. The conservation implications of the use of photo prop animals for tourists in Thailand: a slow loris case study (*Nycticebus spp.*) // TRAFFIC Bulletin, 2015. V. 1. № 27. P. 13–18.
6. Streicher U. Aspects of ecology and conservation of the pygmy loris *Nycticebus pygmaeus* in Vietnam: doctoral dissertation. Ulrike Simone Streicher; Ludwig-Maximilians-University of Munich. Munich, 2004. 139 p.
7. The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species. Version 2020-2. [Электронный ресурс]. UK.: IUCNR, 2020. Режим доступа: https://www.iucnredlist.org , свободный. Загл. с экрана.

РАЗДЕЛЕНИЕ ТРОФИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ У КАРПОВЫХ РЫБ СО СКРЕБУЩИМ ФЕНОТИПОМ ПРИ АДАПТИВНОЙ РАДИАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РОДА *LABEOBARBUS*)

А.С. Комарова[1], О.Л. Розанова[2], А.С. Голубцов[2], Б.А. Лёвин[1]

[1]Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
[2]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: komarova.as90@yandex.ru

Среди крупных африканских усачей рода *Labeobarbus* обнаружены три случая адаптивной радиации в изолированных речных бассейнах Эфиопского нагорья – реках Генале (бас. Индийского океана), Годжеб (бас. оз. Омо-Туркана) и Дидесса (бас. Голубого Нила) (Levin et al., 2019, 2020). Молекулярно-генетические данные говорят о независимом происхождении фенотипически сходных форм усачей из разных бассейнов. Помимо других, в каждой реке отмечена форма усачей со скребущим ротовым фенотипом, или соскребыватели.

Соскребыватели *Labeobarbus* считались ранее перифитонофагами. Однако наши данные показывают, что среди этой группы возможно разделение трофических ресурсов (экологическое видообразование).

Материал для исследования собран в трёх реках Эфиопского нагорья: 1) р. Генале, 2) р. Годжеб и 3) р. Дидесса. Лов рыб осуществляли с использованием ставных сетей и накидок в марте–апреле 2009 г. и марте 2019 г. (р. Генале), феврале 2011 г. (р. Годжеб) и феврале–марте 2011 г. (р. Дидесса).

Рыб фиксировали в 10%-ном формалине, затем переводили в 70%-ный этанол для изучения морфологии и содержимого кишечников. Часть рыб консервировали с солью для изготовления остеологических препаратов. Морфологический анализ проводили по 28 признакам нейрокраниума и спланхнокраниума. Долю компонентов в питании симпатрических форм оценивали по индексу относительной значимости (IR) (Попова, Решетников, 2011). Длину кишечника измеряли с точностью до 1 мм. Для определения трофических уровней определяли показатели стабильных изотопов азота (15N) и углерода (13C) в мышечной ткани рыб. Симпатрические фенотипы обозначали как V- и S-формы. В р. Дидесса сравнение V-формы проводили с генерализованной (всеядной) формой.

Всего исследовано 117 экз. африканских усачей, из них на морфологический анализ – 85, на стабильные изотопы – 108, на питание – 65.

Симпатрические формы усачей значительно расходились в пространстве ГК1 и ГК2 анализа главных компонент. ГК1 объясняла 40–60% дисперсии, ГК2 – 15–17%. Наибольший вклад в значения ГК1 вносили признаки: ширина черепа между внешними краями ethmoidalia lateralia, pterotica, sphenotica, минимальная ширина черепа у frontalia, наибольшая высота нейрокраниума, наибольшая ширина hyomandibulare, ширина basioccipitale plate, длина ceratobranchiale, длина praemaxillare и длина maxillare.

Соскребыватели V-формы во всех реках имели более длинный кишечник (364.9–478.8%) по сравнению с симпатрически обитающими S-формами (251.2–271.8%) и генерализованной формой в р. Дидесса (334.2%). Все соскребыватели имели больше жаберных тычинок (20–28) по сравнению с генерализованной формой (15–19).

Скребущие формы усачей ранее относили к перифитонофагам. В нашем исследовании только одна форма (V-форма из р. Дидесса) идентифицирована как типичный перифитонофаг. Независимо и параллельно образованные V- и S-формы имели сходные стратегии питания в реках Генале и Годжеб (рисунок). В питании V-форм преобладали макрофиты (остатки гелофитных и полуводных растений, представленные семенами, листьями, частями стеблей и цветков) (IR = 97% и 86% соответственно). Основу питания S-форм составляли насекомые (IR = 62% и 87% соответственно). Состав этой категории пищи разнообразен и включает таксономические

группы: Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera, Diptera (Chironomidae, Simuliidae), Heteroptera. Наряду с насекомыми в питании данной S-формы отмечен детрит и макрофиты. В питании генерализованной формы из р. Дидесса в равной степени представлены детрит и насекомые.

По соотношению стабильных изотопов d15N симпатрические формы усачей во всех ре-

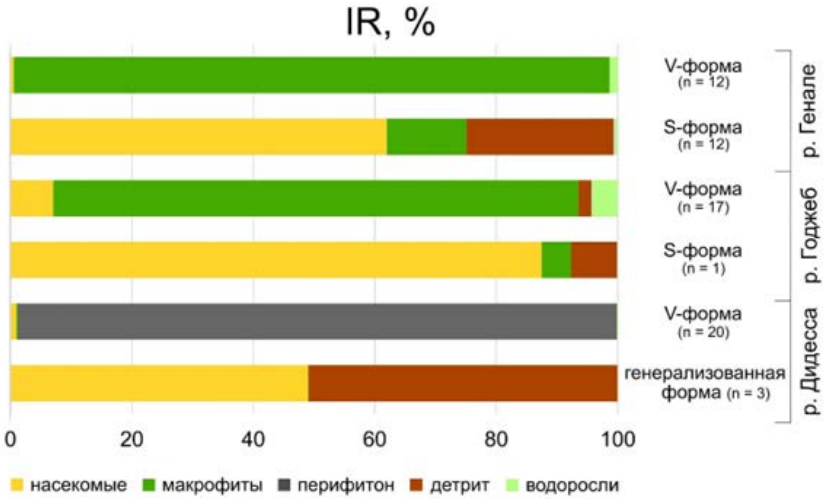


Рис. Пищевой спектр (IR, %) пяти симпатрических форм соскребывателей и одной генерализованной формы Labeobarbus из трех эфиопских рек.

ках значимо различались между собой. Высокоспециализированный перифитонофаг из Дидессы отличался от прочих форм высокими значениями d15N, сходными с таковыми для симпатрических рыбоядных форм.

Наше исследование выявило диверсификацию экологических ниш, основанную на использовании различных трофических ресурсов у рыб-соскребывателей. На основании данных о составе питания и соотношении стабильных изотопов, а также морфо-экологических особенностей строения черепа и длины кишечника выявлены три стратегии питания: перифитонофагия, растительноядная детритофагия и бентофагия (соскребание прикрепленного бентоса).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-14-00218 «Адаптивная радиация и видообразование у карповых рыб в условиях симпатрии».

Литература

1. Levin B.A., Casal-López M., Simonov E., Dgebuadze Y.Y., Mugue N.S., Tiunov A.V., Doadrio I., Golubtsov A.S. Adaptive radiation of barbs of the genus *Labeobarbus* (Cyprinidae) in an East African river // Freshwater Biology, 2019. V. 64. P. 1721–1736. DOI:10.1111/fwb.13364.
2. Levin B.A., Simonov E., Dgebuadze Y.Y., Levina M., Golubtsov A.S. In the rivers: Multiple adaptive radiations of cyprinid fishes (*Labeobarbus*) in Ethiopian Highlands // Scientific Reports, 2020. V. 10. P. 7192. DOI:10.1038/s41598-020-64350-4.
3. Попова О.А., Решетников Ю.С. О комплексных индексах при изучении питания рыб // Вопросы ихтиологии, 2011. Т. 51, № 5. С. 1–6.

СОСТАВ И БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ ДЕНДРО- И ТАМНОФИЛЛОФАГОВ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. ЫБ)

А.В. Лукин

Всероссийский центр карантина растений, Коми филиал,
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: Lukin-6114@yandex.ru

Фауна высших чешуекрылых подзоны средней тайги Республики Коми в целом изучена достаточно хорошо и, согласно литературным данным (Седых, 1974, 1977; Свиридов, Седых, 2005; Татаринов, Долгин, 1999; Татаринов и др., 2003; Татаринов, Кулакова, 2018), насчитывает 496 видов из 18 семейств. Значительно меньше собрано сведений о биотопическом распределении и структуре населения Macrolepidoptera лесных насаждений, составляющих основу плакорных растительных сообществ самой крупной подзоны растительности в регионе. Учитывая то, что среди высших чешуекрылых много видов, которые в случае вспышек массового размножения могут наносить значительный вред лесным хозяйствам, изучение их экологии, пространственного распределения и организация регулярных наблюдений за динамикой численности популяций актуальны не только в научном плане, но и имеют большое практическое значение.

Цель работы – выявление состава и структуры комплекса чешуекрылых-филлофагов в различных типах лесных насаждений южной части средней тайги Республики Коми.

Материалом для настоящей работы послужили сборы с июня по август в 2019–2021 гг. на трех лесных площадках (площадью в 1 км^2 каждая) в окрестностях сельского поселения Ыб Сыктывдинского района, расположенного на левом берегу р. Сысола:

1) 61°15'52.09"N 50°30'16.99"E, ельник чернично-зеленомошный;
2) 61°15'44.52"N 50°33'34.56"E, ельник мелколиственный;
3) 61°14'43.44"N 50°34'02.07"E, осинник ивовый.

Сбор материала осуществлялся по общепринятым энтомологическим методикам: лов имаго с применением воздушного сачка, привлечение бабочек на искусственные источники света. Для отлова преимагинальных стадий с последующим доращиванием в садках осуществлялся околот растений и стряхивание насекомых на белое полотно. Всего было собрано и обработано 350 экз. чешуекрылых на разных стадиях развития.

Инвентаризационное, или α-разнообразие видов оценивалось путем расчета показателей видового богатства и индексов неоднородности: D_{Mg} – индекс видового богатства Маргалефа, D_{Sm} – индекс доминирования Симпсона, $D_{B\text{-}P}$ – индекс доминирования Бергера-Паркера (прямая форма). Формулы расчета данных индексов и обоснование их применения можно найти в методических пособиях (Песенко, 1982; Мэгарран, 1992).

Дифференцирующее, или β-разнообразие характеризовалось путем попарного сравнения состава и соотношения численности видов чешуекрылых в растительных сообществах и графического представления полученных результатов в форме дендрограммы. В качестве показателя соответствия использовался индекс Жаккара, дендрограмма строилась способом присоединения объектов по среднему арифметическому сходства (Песенко, 1982). Расчет индексов видового разнообразия и построение дендрограммы проводили с помощью компьютерной программы Past v. 4.

В ходе камеральной обработки и определения материала было установлено, что чешуекрылые относятся к 66 видам из 57 родов и 12 семейств. Анализ таксономической структуры видового состава показал, что доминирующей по числу видов группой являются Geometridae, на долю которых приходится чуть более половины обнаруженных видов (51.7%), и Noctuidae,

на долю которых приходится одна пятая видов (21.2%). Значительно меньше доля Nymphalidae (4.6%). Доля видов семейств Pieridae, Drepanidae, Notodontidae, Lymantriidae, Arctiidae и Erebidae по 3%; а Papilionidae, Lucaenidae и Sphingidae составляют по 1.5%.

Площадка № 1. Ельник чернично-зеленомошный сложен плотно произрастающей перестойной елью с незначительным присутствием молодых берёз высотой до 1 м. Кустарниковый ярус представлен единичными угнетенными растениями смородины черной.

На данной площадке за три полевых сезона было отловлено 32 вида чешуекрылых из 29 родов и 8 семейств. Доминирующими видами были: голубянка *Callophrys rubi* (L.) – обычный, часто многочисленный вид хвойных и смешанных редколесий и два вида пядениц из рода *Cabera: C. exanthemata* (Scop.) и *C. pusaria* (L.). Дифференцирующими видами были: *Thyatira batis* (L.) – монофаг малины; пяденицы *Crocallis elinguaria* (L.) и два вида рода *Hypomecis: H. punctinalis* (Scop.) и *H. roboraria* (Den. et Schiff.), предпочитающие смешанные леса и питающиеся преимущественно на березе и ольхе; *Heterothera serraria* (Lienig & Z.) – монофаг: гусеница на ели, *Eulithis pyropata* (Hbn.) – тамнофаг: гусеница на смородине; *Eupithecia abietaria* (Goeze) – дендрофаг ели и сосны; хохлатка *Ptilodon capucina* (L.) – полифаг: гусеницы на березе.

Площадка № 2. Ельник мелколиственный характеризуется разреженным древостоем разновозрастных елей, сосной, березой, осиной, несколькими видами ив древесной формы, черемухой, крушиной. Кустарниковый ярус представлен синузией шиповника.

В общей сложности на данной площадке было отловлено 38 видов чешуекрылых из 33 родов и 10 семейств. Доминирующими видами были: дендро-тамнофаг *Aporia crataegi* (L.), что объясняется присутствием большого количества кормовых растений и близостью к разнотравному лугу; пяденица *Dysstroma citrata* (L.) – вид-полифаг, питающийся лиственными и плодовыми деревьями и кустарниками; полифаг *Spilosoma lubricipedum* (L.), гусеницы которого были найдены на иве. Только на этом участке обнаружено две особи *Iphiclides podalirius* (L.). Данный дендро-тамнофаг питается на черемухе и рябине, и в последние годы отмечается его активная экспансия в северные части региона (Татаринов, Кулакова, 2018). Единственная находка пяденицы *Apeira syringaria* (L.) для Коми была сделана в 1972 году в южной тайге (окр. с. Летка), этот тамнофаг питается на сирени и жимолости. Два вида пядениц рода *Macaria: M. alternata* (Den. et Schiff.) и *M. notata* (L.), – дендро-тамнофаги, предпочитающие мелколиственные редколесья. Найденные гусеницы совки *Acronicta aceris* (L.) в средней полосе России предпочитают питаться кленом, дубом и липой, а в более северных регионах, таких как Коми, переходят на мелколиственные деревья и кустарники (ива, осина, береза). Также было поймано имаго редкого бражника *Hemaris fuciformis* (L.), кормящегося в цветках крушины.

Площадка № 3. Осинник ивовый расположен вблизи р. Сысола. Помимо древесных и кустарниковых форм ивы, имеет осину, ольху, а также единичные плодовые деревья и кустарники: черемуху, рябину, крушину. Присутствуют синузии шиповника и малины, два куста можжевельника.

На этой площадке было отловлено 34 вида чешуекрылых из 32 родов и 10 семейств. Установлено два доминирующих вида пядениц-полифагов: *C. exanthemata* (Scop.) – населяет мелколиственные или смешанные леса и *Angerona prunaria* (L.), по нашим наблюдениям, вид предпочитает фитоценозы с высоким увлажнением и селится возле рек или заболоченных лесных опушек. Только здесь были найдены пяденицы *Chlorissa viridata* (L.), *Epirrita autumnata* (Borkh.) – виды-полифаги лиственных деревьев и кустарников; *Thera juniperata* (L.) – монофаг можжевельника, а также два вида дендро-тамнофага, питающиеся преимущественно ивой, осиной и ольхой: волнянка *Leucoma salicis* (L.) и хохлатка *Eligmodonta ziczac* (L.).

В ходе исследования было найдено два новых для европейского Северо-Востока России вида высших чешуекрылых: медведица *Spilarctia lutea* (Hufn.) – две особи пойманы 22.VI.2019 г. и одна особь – 04.VII.2020 г. на третьей площадке. Находки имаго совки *Allophyes oxyacanthae* (L.) (три особи) сделаны в течение августа 2021 г. на второй и третьей площадках. Оба вида являются полифагами лиственных деревьев и кустарников.

Представленные индексы (таблица) достаточно схожие, что говорит об очень близком уровне инвентаризационного разнообразия между участками. Сравнение видового состава с учетом численности видов (β-разнообразие) показало заметные отличия в населении чешуекрылых ельника чернично-зеленомошного (рисунок), что, очевидно, связано особенностями структуры этого фитоценоза. Площадка № 1 была заложена внутри плакорного массива первичных темнохвойных лесов, состоящих из старовозрастных, перестойных елей, соответственно, в нем устойчивые менее многочисленные трофические связи. Площадки № 2 и № 3 являются вторичными лесонасаждениями, на которых в большей степени присутствуют схожие лиственные породы, что, соответственно, отражается на составе видов чешуекрылых, трофически связанных с ними.

Таблица

Показатели видового разнообразия на модельных участках

Индексы разнообразия	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3
D_{Mg}	6.839	7.394	7.034
$D_{Sm\,(1/D)}$	0.912	0.951	0.939
$D_{B\text{-}P}$	0.215	0.207	0.184

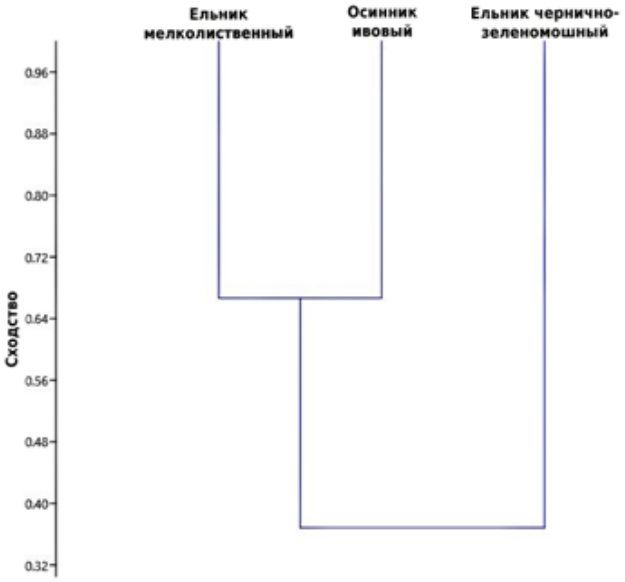


Рис. Дендрограмма сходства лесных комплексов чешуекрылых-филлофагов окрестностей села Ыб.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить комплекс высших чешуекрылых-филлофагов для нескольких модельных участков лесонасаждений средней тайги. На основе полученных данных мы можем предположить, что обнаруженные виды характерны для аналогичных лесных фитоценозов в других частях вышеуказанной подзоны.

Литература

1. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 161 с.
2. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
3. Свиридов А.В., Седых К.Ф. Совки (Lepidoptera, Noctuidae) Республики Коми // Русск. энтомол. журн., 2005. Т. 14, вып. 4. С. 329-345.
4. Седых К.Ф. Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1974. 192 с.
5. Седых К.Ф. Новые виды, подвиды и дополнения к фауне чешуекрылых Коми АССР // Географические аспекты охраны флоры и фауны на северо-востоке Европейской части СССР. Сыктывкар, 1977. С. 97-108.

6. Татаринов А.Г., Долгин М.М. Булавоусые чешуекрылые // Фауна европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1999. Т. VII. Ч. 1. 183 с.
7. Татаринов А.Г., Седых К.Ф., Долгин М.М. Высшие разноусые чешуекрылые // Фауна европейского Северо-Востока России / СПб.: Наука, 2003. Т. VII. Ч. 2. 223 с.
8. Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Высшие чешуекрылые Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва». Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 156 с.

СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA) РАЗНОТРАВНО-ЗЛАКОВЫХ ЛУГОВ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Мазеева, О.И. Кулакова

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: mazeeva@ib.komisc.ru

Несмотря на длительную историю изучения булавоусых чешуекрылых в Кировской области, данные о структуре их населения и топических группировках в природных сообществах региона практически отсутствуют. Возобновление сельскохозяйственных работ, увеличение площадей пашен и сенокосов в регионе делают особенно актуальным выявление как структуры населения булавоусых чешуекрылых, так и последствий воздействия на неё антропогенного фактора в различных типах природных сообществ.

Обилие видов оценивали по результатам визуальных учетов имаго на линейных площадках-трансектах (Pollard, 1977; Yamamoto, 1975) с помощью пятибалльной ограниченной сверху логарифмической шкалы относительного обилия видов (Песенко, 1982). Уровень инвентаризационного разнообразия рассчитывали с помощью индексов видового богатства Маргалефа (D_{Mg}) и Шэннона (H'), доминирования Симпсона (D_{Sm}) и Бергера-Паркера (d), для подсчета которых использовали программу PAST 2.17 (Hammer et al., 2001). Значимость отличий параметров оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (Коросов, Горбач, 2007).

Одними из основных местообитаний булавоусых чешуекрылых, которые занимают в Кировской области наибольшую площадь в подзоне южной тайги, являются разнотравно-злаковые луга. На всех исследованных лугах преобладали злаки (*Dactylis glomerata, Agrostis tenuis* и др.), многочисленны были *Galium sp.*, *Pimpinella saxifraga*, *Alchemilla sp., Taraxacum officinale*, различные бобовые (*Lathyrus pratensis* и др.).

Богатый флористический состав разнотравно-злаковых лугов обуславливает обширный видовой состав булавоусых чешуекрылых. На разнотравно-злаковых лугах в общей сложности отмечено 53 вида из 33 родов шести семейств булавоусых чешуекрылых. На лугах, где проводились постоянные учеты (I–IV), встречалось от 23 (луг I) до 27 видов (луга II и IV). Уровень видового разнообразия на исследованных лугах достаточно сходен, особенно попарно для I и II, III и IV лугов (таблица).

Ранговое распределение относительного обилия видов булавоусых чешуекрылых характеризуется логнормальной моделью на всех лугах кроме луга II, где оно характеризуется логарифмической. Большинство видов Rhopalocera единичны и малочисленны (1 и 2 балл обилия по Песенко). Структуру населения формируют, как правило, два-три, редко четыре вида, образующих фон. Среди них четко выделяются один-два вида-доминанта (более 15%) и до двух видов-субдоминантов (10–15%). По составу видов-доминантов топические группировки разнотравно-злаковых лугов можно четко разделить на два типа.

На лугах первого типа, находящихся в локальных фаунах Кстинино (луг I) и Юрьи (луг II), формируется население булавоусых чешуекрылых с преобладанием голубянок видов группы *Plebejus idas,* обилие которых мы связываем с большим количеством муравейников, поскольку, как было показано в литературе (Jordano et al, 1992), обилие видов данной группы тесно связано именно с муравьями родов *Lasius*, *Myrmica* и *Formica* (Стародомский, 2005). Однофакторный дисперсионный анализ подтверждает значимость влияния этого фактора ($F = 10.19$, $df = 9$, $\eta^2 = 0.74$, $p < 0.05$) на распределение видов группы *Plebejus idas* на лугах. На лугу I вторым доминантом являлась *Pieris napi,* субдоминантом – *Polyommatus icarus*. На лугу II субдоминантом являлся *Aphantopus hyperantus*.

На лугах второго типа, расположенных в локальных фаунах Кстинино (луг III) и Кумен (луг IV), преобладал *Aphantopus hyperantus*. На лугу III вторым доминантом являлась

Таблица

Видовой состав, баллы относительного обилия и показатели видового разнообразия булавоусых чешуекрылых на разнотравно-злаковых лугах

Виды булавоусых чешуекрылых	Учетные участки, баллы относительного обилия			
	I	II	III	IV
Pyrgus malvae (L.)	1	-	1	-
Thymelicus lineola (Ocsh.)	1	2	3	3
Ochlodes sylvanus (Esp.)	-	1	1	1
Iphiclides podalirius (L.)	-	1	-	-
Papilio machaon (L.)	1	1	-	1
группа Leptidea sinapis (L.)	2	3	1	4
Anthocharis cardamines (L.)	1	1	-	-
Aporia crataegi (L.)	1	-	-	-
Pieris napi (L.)	4	2	1	4
P. rapae (L.)	1	2	1	1
Pontia edusa (F.)	-	-	-	1
Colias hyale L. (L.)	1	-	1	3
Gonopteryx rhamni (L.)	2	1	1	2
Lycaena dispar (Haw.)	-	-	1	-
L. hippothoe (L.)	-	1	1	1
L. virgaureae (L.)	-	1	2	3
Cupido argiades (Pall.)	2	-	-	2
группа Plebejus idas (L.)	4	5	-	3
Cyaniris semiargus (Rott.)	1	2	1	-
Polyommatus amandus (Schn.)	1	-	-	1
P. icarus (Rott.)	3	2	1	3
Apatura ilia ([Den. et. Schiff.])	1	-	-	-
Nymphalis urticae (L.)	-	1	1	-
N. io (L.)	1	1	-	-
Polygonia c-album (L.)	-	1	-	-
Vanessa atalanta (L.)	-	1	-	-
V. cardui (L.)	1	1	-	1
Araschnia levana (L.)	1	1	-	-
Melitaea diamina (Lang)	-	-	1	1
группа M. athalia (Rott.)	-	-	1	
Clossiana dia (L.)	-	-	-	2
C. euphrosyne (L.)	-	-	2	
Brenthis ino (Rott.)	-	-	3	2
Issoria lathonia (L.)	-	-	-	1
Argynnis adippe ([Den. et. Schiff.])	-	1	-	1
A. aglaja (L.)	1	2	2	2
Lasiommata maera (L.)	-	-	1	-
Melanargia russiae (Esp.)	1	-	-	-
Coenonympha glycerion (Brkh.)	1	3	-	2
C. hero (L.)	-	1	-	1
Aphantopus hyperantus (L.)	2	3	4	4
Maniola jurtina (L.)	-	1	2	2
Hyponephele lycaon (Rott.)	1	1	1	1
Показатели видового разнообразия				
S	23	27	24	27
D_{Mg}	4.952	4.0965	3.624	3.5785
H’	2.507	2.3725	2.1285	1.966
D_{Sm}	0.8734	0.8422	0.81	0.73375
d	0.2588	0.30575	0.35975	0.4543

Примечание: I-IV см. в тексте. Баллы относительного обилия: 1 – единичный, 2 – малочисленный, 3 – обычный, 4 – многочисленный, 5 – массовый (Песенко, 1982)

Thymelicus lineola, субдоминантом – *Brenthis ino*. На лугу IV субдоминантами были *Pieris napi* и виды группы *Leptidea sinapis.* Относительное обилие *Plebejus idas* на лугу IV, где муравейники были немногочисленны, не превышало 6%, а на лугу III, где муравейники отсутствовали, группа видов *Plebejus idas* отсутствовала полностью.

Луга III и IV подвергались воздействию антропогенного фактора в виде частичного выкоса, сроки которого различались: луг III выкашивался в первой декаде июля, а луг IV – постепенно с первой декады июля до конца сезона примерно наполовину. В обоих случаях трансекта пересекала и выкошенный, и невыкошенный участок. После выкоса булавоусые чешуекрылые группировались на невыкошенной части луга, на выкошенной части встречались только отдельные особи, как правило, пролетом. То же было характерно для полностью выкошенного луга V, расположенного в локальной фауне Суны, от учетов на котором из-за этого в дальнейшем отказались. В результате численность имаго на невыкошенной части лугов III и IV повышалась не только из-за естественного увеличения численности в результате выхода из куколок видов летнего аспекта, но и за счет миграции с соседних участков особей видов, летающих в период выкоса. Последствия выкоса сохранялись и на следующий год. Так, та часть трансекты на лугу IV, которая подвергалась выкосу в 2020 г., в 2021 г. достоверно ($t=2.72$; $p<0.05$) отличалась по численности булавоусых чешуекрылых от той части, где его не было.

Литература

1. Коросов А.В., Горбач В.В. Компьютерная обработка биологических данных. Методическое пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 76 с.
2. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Издательство «Наука», 1982. 287 с.
3. Стародомский Б.В. Голубянки подсемейства Polyommatinae Европейской России, Центрального и Западного Кавказа. Ростов-на-Дону, 2005. 148 с.
4. Hammer Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica, 2001. Vol. 4. № 1. 9 pp.
5. Jordano D., Rodríguez J., Thomas C.D. et all. The distribution and density of a lycaenid butterfly in relation to Lasius ants // Oecologia, 1992. V. 91. № 3. P. 439–446. DOI: 10.1007/BF00317635.
6. Pollard E. A method for assessing changes in the abundance of butterflies // Biological Conservation, 1977. V. 12, № 2. P. 115–134. DOI: 10.1016/0006-3207(77)90065-9.
7. Yamamoto M. Notes on the Methods of Belt Transect Census of Butterflies // Journal of the faculty of science Hokkaido University series VI. Zoology, 1975. V. 20, № 1. P. 53–58.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА АЛЛЕЛЬ-СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ПЦР ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ПОЛИМОРФИЗМОВ У БАЛОБАНА (*FALCO CHERRUG* GREY, 1834) И КРЕЧЕТА (*FALCO RUSTICOLUS* L., 1758)

В.А. Новиков[1], Д.Н. Рожкова[1,2]

[1]ФГБУ «ВНИИ Экология»
E-mail: sasulk1@mail.ru
[2]Институт биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН

Видовая и популяционная идентификация по морфологическим признакам бывает затруднена для близкородственных таксонов. Это характерно, например, для крупных соколов – балобана *Falco cherrug* и кречета *F. rusticolus*, принадлежащих к эволюционно молодой группе *Hierofalco* (Fuchs et al., 2015). Генетические исследования данных видов с помощью митохондриальных последовательностей гена цитохрома *b* (Wink et al., 2004), контрольного региона (Nittinger et al., 2007) и их сочетания (Johnson et al., 2007), наравне с анализом микросателлитов (Nittinger et al., 2007; Johnson et al., 2007), не позволили однозначно отличить их и идентифицировать.

При этом балобан и кречет являются не только охраняемыми на территории России (Красная книга, 2021), но и особо ценными видами согласно Постановлению Правительства № 978 от 31.10.2013 г. Это в первую очередь связано с деградацией природных популяций исследуемых видов в результате незаконного изъятия птиц для дальнейшего их использования в соколиной охоте (Сорокин, 2005; Николенко и др., 2014). В связи с этим разработка молекулярно-генетических методов для надежной видовой идентификации балобана и кречета является актуальной задачей.

Нами проведено исследование, направленное на решение данной проблемы – апробирована аллель-специфическая ПЦР для детекции однонуклеотидных полиморфизмов, выявленных на основе анализа полученных ранее полногеномных данных балобанов и кречетов (Zinevich el al., в печати). Однонуклеотидные полиморфизмы или SNPs (Single Nucleotide Polymorphisms) представляют собой отдельные нуклеотиды, отличающиеся в соответствующих сравниваемых последовательностях ДНК. В медицине и ветеринарии SNPs широко применяются в качестве маркеров, например, генетически обусловленных заболеваний (Takanosu et al., 2012).

Материалом для данной работы послужили шесть образцов ДНК – от двух птиц из каждой популяции – кречетов, а также балобанов с запада и востока ареала, предоставленные из коллекции Сектора генетики ФГБУ «Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды».

Для данного исследования мы выбрали ген *KCNK10*, проведя с помощью онлайн-программы BLAST выравнивание полученных фрагментов его последовательности с коллекцией матричных РНК, находящейся в открытом доступе в базе данных GenBank. Сравнение показало, что выбранный однонуклеотидный полиморфизм (нуклеотид A у балобанов, G у кречетов) находится в кодирующей области исследуемого гена. Кроме этого, на основе референсных последовательностей были сконструированы внешние (KCNK10f 5’-GACGCCAGCACCATCAGC-3’, KCNK10r 5’-GCCCAGTAACCCCAACCAAAACA-3’) и аллель-специфические (KRevGyr 5’-CA-AAGACAATGCAGCCTGCtA<u>G</u>-3’, KRevSak 5’-CAAAGACAATGCAGCCTGCtA<u>A</u>-3’) праймеры. Амплификация исследуемых последовательностей проводилась на основе специализированного набора реактивов (Синтол, Россия) согласно рекомендациям производителя. Программа амплификации с внешними праймерами включала следующие циклы: 95 °C – 5 минут, затем 12 циклов 95 °C – 30 сек., 66 °C с понижением на 1 °C каждый следующий цикл – 30 сек., 72 °C – 45 сек., далее 25 циклов 95 °C – 30 сек., 55 °C – 30 сек., 72 °C – 45 сек. и 72 °C – 10 мин. ПЦР с парой внешних праймеров позволила получить ампликоны для

дальнейшего секвенирования по Сэнгеру, которое было проведено на генетическом анализаторе Нанофор 05 (Синтол, Россия) на базе Института биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН с помощью реактивов BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit согласно протоколу производителя. В то же время для аллель-специфической детекции была использована система мультиплексной ПЦР одновременно с внешними и одним из внутренних аллель-специфичных праймеров. Для амплификации использовалась программа из статьи М. Таканосу с соавторами (2012) с незначительными модификациями: 95 °C – 3 мин, затем 12 циклов 95 °C – 30 сек, 68 °C с понижением на 2 °C каждые два цикла – 30 сек, 72 °C – 30 сек., далее 25 циклов 95 °C – 30 сек., 57 °C – 30 сек., 72 °C – 45 сек. и 72 °C – 7 мин.

В результате, анализ полученных сиквенсов с помощью программного пакета DNAStar (Lasergene, США) показал, что у одного из балобанов с востока ареала присутствует аллель G. Это позволяет сделать вывод, что выбранный полиморфизм гена *KCNK10* не является строго видоспецифичным для балобана и кречета. Тем не менее аллель-специфическая ПЦР показала, что результат детекции полиморфного нуклеотида данным методом полностью соответствует данным, полученным в результате секвенирования.

Таким образом, методика аллель-специфической ПЦР, широко применяемая в ветеринарии, является перспективным инструментом для детекции выявленных видоспецифичных однонуклеотидных полиморфизмов, а также для индивидуальной идентификации соколов.

Литература

1. Павлов Д.С. Красная книга Российской Федерации (животные) 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
2. Николенко Э.Г., Карякин И.В., Левин А.С. Корни проблемы сокращения численности балобана и пути ее решения в рамках глобального плана действий по балобану на примере России и Казахстана // Пернатые хищники и их охрана, 2014. № 29. С. 18-38.
3. Сорокин А.Г. К проблеме международной торговли соколами // Хищные птицы и совы в зоопарках и питомниках, 2005. № 14. С. 23-29.
4. Fuchs J., Johnson J.A., Mindell D.P. Rapid diversification of falcons (Aves: Falconidae) due to expansion of open habitats in the Late Miocene // Molecular Phylogenetics and Evolution, 2015. V. 82. P. 166-182.
5. Johnson, J.A., Burnham K.K., Burnham W.A., Mindell D.P. Genetic structure among continental and island populations of gyrfalcons // Molecular Ecology, 2007. V. 16. № 15. P. 3145-3160.
6. Nittinger F., Gamauf A., Pinsker W., Wink M., Haring E. Phylogeography and population structure of the saker falcon (Falco cherrug) and the influence of hybridization: mitochondrial and microsatellite data // Molecular Ecology, 2007. V. 16. № 7. P. 1497-1517.
7. Takanosu M., Mori H., Suzuki H., Suzuki K. Genotyping of exercise-induced collapse in Labrador retrievers using an allele-specific PCR // The Veterinary Journal, 2012. V. 193 P. 293-295.
8. Wink M., Sauer-Giirth H., Ellis D., Kenward R. Phylogenetic relationships in the Hierofalco complex (Saker-, Gyr-, Lanner- and Laggar falcon) // Raptors Worldwide. Budapest/Berlin: MME/WWGBP, 2004. P. 499–504.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЕЛЕНИЙ *CASTOR FIBER POHLEI* НА ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА «ВЕРХНЕ-КОНДИНСКИЙ»

А.А. Полушкин

Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. Б.М. Житкова
E-mail: toni.polushkin@mail.ru

Современная популяция евразийского бобра (*Castor fiber L.*) после практически полного истребления и последующей реакклиматизации восстанавливает свою численность. В XX в., во время непосредственной реакклиматизации евразийского бобра, основной племенной материал брался из двух источников: Воронежского государственного охотничьего бобрового заповедника (сейчас – Воронежский государственный природный биосферный заповедник имени В.М. Пескова) и Березинского государственного заповедника (сейчас – Березинский биосферный заповедник), расположенного на территории Белоруссии. Следствием реинтродукции стало восстановление численности обыкновенного бобра на территории Евразии, причем численность бобров достигла 1.5 млн особей (Halley et al, 2021). Второй особенностью реинтродукции явилось то, что повышение численности коснулось только гибридных форм бобра, потомков белорусских и воронежских бобров, в то время как автохтонные популяции, сохранившиеся на некоторых участках континента, несмотря на защиту, находятся в состоянии медленного роста или стагнации. При этом существует угроза захода на эти территории мигрантов гибридного происхождения, полного растворения автохтонных популяций бобров и, как следствие, потеря уникальных сообществ.

В ходе многолетних исследований на территории Ханты-Мансийского автономного округа были получены множественные данные об особенностях расселения и экологии западносибирского бобра. Данные собирались при помощи нескольких методик: эколого-статистической методики Поякова-Дьякова (1959), морфо-экологического метода Соловьева (1971) и методики определения бонитета бобровых поселений Бородиной (1959).

На территории государственного природного заказника «Верхне-Кондинский» на данный момент обитает более 300 особей западносибирского бобра по нескольким основным рекам заказника. Самая крупная река заказника – Конда – протекает по всей его территории с севера на юг, на ней располагается бобровая популяция, которую, благодаря труднодоступной местности, не смогли истребить в XIX и более поздних веках. Бобровая группировка расположена не только на самой Конде, но также на всех крупных притоках: реках Ейтья, Ух, Ах, Олтум, Эсс, Умытья и Нюрих. Вышеупомянутые реки большей частью протекают по территории заказника «Верхне-Кондинский» и имеют много общих черт.

Во-первых, это равнинные реки с невысокой скоростью течения. Расположенные на территории Западно-Сибирской равнины, реки имеют схожий тип питания, а именно: 50% питания рек приходится на поверхностный сток за счет таяния снега. Оставшиеся 50% примерно поровну делят дождевой поверхностный сток и питание подземными водами. Следствием такого типа питания является большое количество паводков в весенний период, повышающий уровень воды на несколько метров и заливающий обширные территории.

Во-вторых, реки, расположенные в одной климатической зоне, обладают схожими типами растительных сообществ. Растительность на всей территории заказника представлена, в первую очередь, сосновыми лесами. Другие типы растительности, такие, как темнохвойные и лиственные леса, встречаются в основном по берегам рек, ручьев, а также на территории болот.

Географическое расположение рек на территории заказника во многом определяет пригодность тех или иных водоемов для заселения. Большая часть рек на территории заказника по размерам относится к малым и средним, только Конда является крупной рекой. Первой особенностью размещения бобровых поселений является то, что они размещаются только на

непромерзающих водоемах. Малые реки и ручьи, глубина которых в среднем не превышает 1 метра, не заселяется бобрами на постоянной основе. В зимнее время, особенно в условиях холодной осени, все мелкие водоемы практически полностью промерзают. Отсутствие свободной воды и малое количество продухов во льду не позволяют бобрам пережить зиму, и поселения, сформировавшиеся в подобных условиях, погибают. Аналогичная ситуация происходит с большинством старичных озер. Суровые зимы с низкими температурами на территории Западной Сибири приводят к глубокому промораживанию озер и невозможности формирования постоянных поселений. В результате многолетних исследований было выявлено, что малые реки и старичные озера заселяются бобрами только на непродолжительный летний период. Летом на таких участках формируются временные поселения. Данные поселения всегда располагаются в непосредственной близости от основного ядра. Это можно определить по следам жизнедеятельности и расположению запаховых меток. В дальнейшем при понижении температуры временные поселения объединяются с основным ядром для обновления зимнего убежища и формирования зимнего запаса корма.

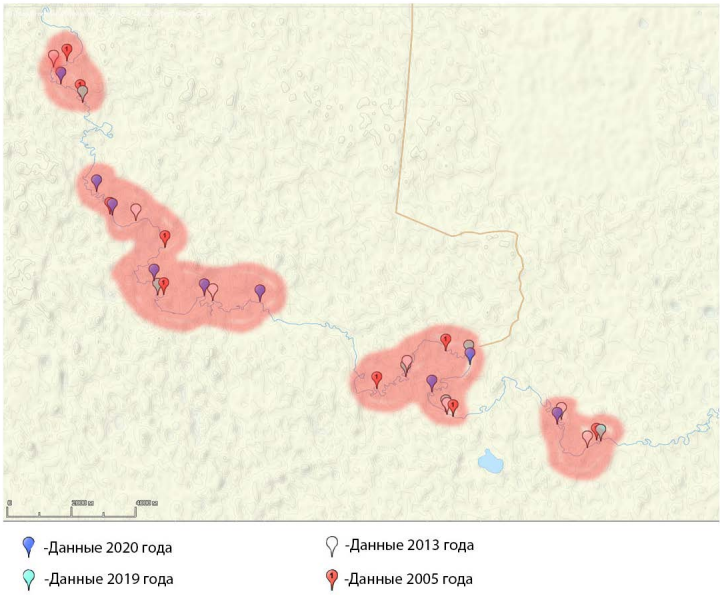


Рис. Группировки бобровых поселений на р. Ейтья.

Второй особенностью, выявленной на территории заказника «Верхне-Кондинский», стало обнаружение участков рек, в которых численность бобра была значительно выше, чем на соседних участках (рисунок). Для анализа использовались учетные данные заказника, сформированные за период работы с 2013 по 2021 г. по нескольким рекам, таким как Ейтья, Эсс и Нюрих. На этих реках участки повышенной плотности бобровых поселений чередуются с участками пониженной плотности примерно через 3–5 км русла рек. Особенностью таких участков является комбинация нескольких факторов.

Во-первых, гидрология каждого из участков. Несмотря на небольшую скорость течения и равнинный рельеф, на участках с высокой концентрацией бобровых поселений присутствуют плесы. На изгибах по одному из берегов на течении формируются участки с большей глубиной. В результате в зимнее время река не промерзает, оставляя доступ в норы, а также к зимнему запасу корма.

Во-вторых, высота берегов на исследованных участках. На высоком берегу у бобров есть возможность в короткие сроки выкопать несколько нор и отнорков, что позволяет их спрятаться от хищников, тем самым повысив выживаемость.

Третьей особенностью, характерной для участков с высокой плотностью, является тип растительности. На реках, протекающих по территории заказника, количество лиственных пород относится к количеству хвойных как 4:6. В среднем на всем водотоке участки с хвойными породами, такими как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L), сосна сибирская (*Pinus sibirica*

Du Tour), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), преобладают над участками с березой (*Betula* spp.), ивой (*Salix* spp.) и осиной (*Populus tremula* L.). Кормовая база бобра состоит из лиственных растений, и для формирования поселения на северной границе ареала она имеет большое значение (официальный сайт ГПЗ «Малая Сосьва». URL: https://www.m-sosva.ru).

По нашим данным, соотношение ключевых факторов на реках заказника влияет на предпочтение в формировании поселений. Так как участки с благоприятными условиями встречаются не очень часто, при многолетнем учете наибольшее количество встреч бобров происходит на них гораздо чаще, чем на соседних участках. Климатические условия, формирующие кормовую базу на территории Сибири, не позволяют растениям восстанавливать свою вегетативную базу с высокой скоростью. В результате бобровое поселение, занявшее определенный участок, в течение одного-двух сезонов истощает кормовой запас, что приводит к миграциям бобров вверх или вниз по течению в поисках новых, пригодных для жизни участков. За несколько лет часть древесных растений, таких как ивы, восстанавливает свои изначальные объемы, что вновь создает пригодные для вселения условия. При многолетнем учете численности бобров можно с высокой долей вероятности определить, на каких участках есть шанс формирования поселений, а на каких нет.

Таким образом, в ходе многолетних учетов на территории заказника «Верхне-Кондинский» были выявлены участки, наиболее часто заселяемые западносибирским бобром, и определены ключевые факторы, влияющие на это.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект FNWS-2022-0001).

Литература

1. Бородина М.И. Временная инструкция по учету численности речного бобра. Москва, 1959.
2. «Государственный природный заповедник „Малая Сосьва“ имени В.В. Раевского». [Электронный ресурс]. URL: https://www.m-sosva.ru/ [дата обращения: 17.03.2022].
3. Дьяков Ю.В. Бобры Европейской части Советского Союза (Морфология, экология, пути и методы хозяйственного использования). М.: Моск. рабочий, 1975. 480 с.
4. Соловьев В.А. Количественный учет бобра методом измерения ширины следов резца на древесных погрызах // Ученые записки Рязанского гос. пед. института, 1971. Т. 105. С. 110-125.
5. Halley D.J., Saveljev A.P., Rosell F. Population and distribution of beavers Castor fiber and Castor canadensis in Eurasia // Mammal Review, 2021. No. 1 (51). С. 1–24.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ГАРПАКТИКОИДЫ *HARPACTICELLA INOPINATA* SARS (HARPACTICOIDA, COPEPODA, CRUSTACEA)

Е.И. Попова[1], Е.Б. Фефилова[2], Е.С. Кочанова[3], И.О. Велегжанинов[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail:elizavetapopova92@gmail.com
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
[3]Хельсинский университет

Биота Байкала является самой яркой достопримечательностью этого древнейшего озера. Микроскопические веслоногие ракообразные отряда Harpacticoida играют большую роль в биоразнообразии байкальской фауны, занимают все донные биотопы озера и доминируют по численности в сообществах мейобентоса (Окунева, 1989; Окунева, Евстигнеева, 2001).

Объектом нашего исследования являлся вид *Harpacticella inopinata* Sars, 1908, распространенный в Байкале и в сопредельных ему районах: Иркутском, Братском водохранилищах, реках Енисей, Ангара (Боруцкий, 1952). Этот рачок обладает широким спектром питания (Окунева, 1989), во всех названных водоемах является массовым, а в литорали Байкала распространен повсеместно, в том числе в зонах с повышенной антропогенной нагрузкой. В международных базах генетических данных (NCBI, Bold Systems) сведения о ДНК последовательностях *H. inopinata* отсутствуют. Таким образом, этот таксон является новым для молекулярной систематики. В задачи нашей работы входило: 1) изучение морфологии *H. inopinata* из Байкала и Енисея, 2) получение генетических баркодов байкальской *H. inopinata*, 3) выполнение молекулярно-генетического анализа – сравнения особей байкальской популяции вида с наиболее близкородственными представителями гарпактикоид по последовательности вариабельного фрагмента гена первой субъединицы цитохромоксидазы (COI).

Материалом для исследования послужили спиртовые и формалиновые пробы *H. inopinata* из оз. Байкал (сборы 3.10.2017) и р. Енисей (сборы 31.08.2021), а также формалиновая проба из Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова (сборы 1968 г.). Морфологические исследования (микроскопия особей) проводились в отделе экологии животных Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, подготовка ампликонов COI к секвенированию – в Центре коллективного пользования «Молекулярная биология» того же института. Секвенирование образцов ДНК осуществлялось в ЦКП «Геном» Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН.

В результате изучения морфологии особей гарпактикоид из оз. Байкал и р. Енисей было установлено их соответствие описанию *H. inopinata* в (Боруцкий, 1952) (рис. 1), различий в размерах, строении плавательных конечностей и каудальных ветвей между рачками двух популяций найдено не было.

Для изучения молекулярной филогении *H. inopinata* были получены сиквенсы COI, длиной 615-713 нуклеотидов каждый, только из особей оз. Байкал, которое является типовым местонахождением этого вида. На филогенетическом древе баркоды байкальской *H. inopinata* заняли обособленное положение, причем бутстреп поддержки ветвей были максимально высокими. На основе анализа генетических дистанций, показанных на тепловой карте (рис. 2), *H. inopinata* отстоит достаточно далеко от другого вида рода *Harpacticella* – *H. jejuensis* Lee, Kim & Lee, 2014, в то время как наибольшее генетическое сходство показано для исследованного вида и представителей рода *Tigropus*. Из этого следует, что необходимо изучить филогенетическую структуру семейства с использованием дополнительных генетических маркеров, и, возможно, пересмотреть и уточнить систематическое положение и морфологические ключи *H. inopinata.*

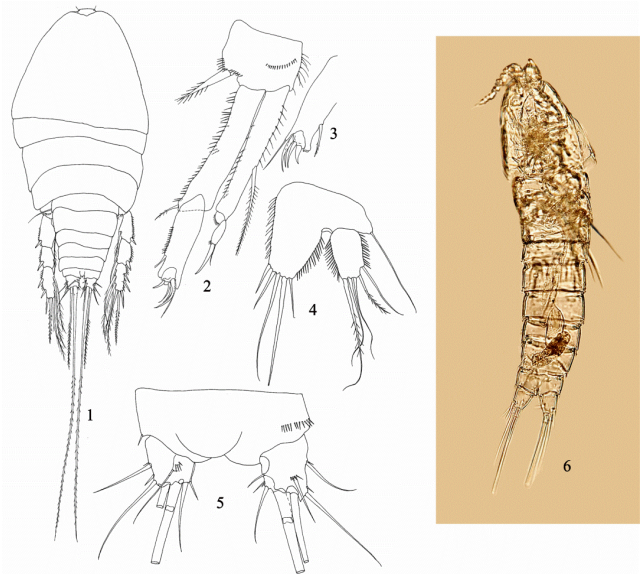


Рис. 1. Особенности морфологии самки (1–5) и самца (6) *Harpacticella inopinata*. 1 – общий вид особи дорсально, 2 – первая плавательная нога, 3 – конечный членик первой плавательной ноги, 4 – нога пятой пары, 5 – фурка, 6 – общий вид вентрально (фото экзоскелета, после обработки особи для выделения ДНК). 1–3, 6 – особи из оз. Байкал, 4, 5 – особь из р. Енисей.

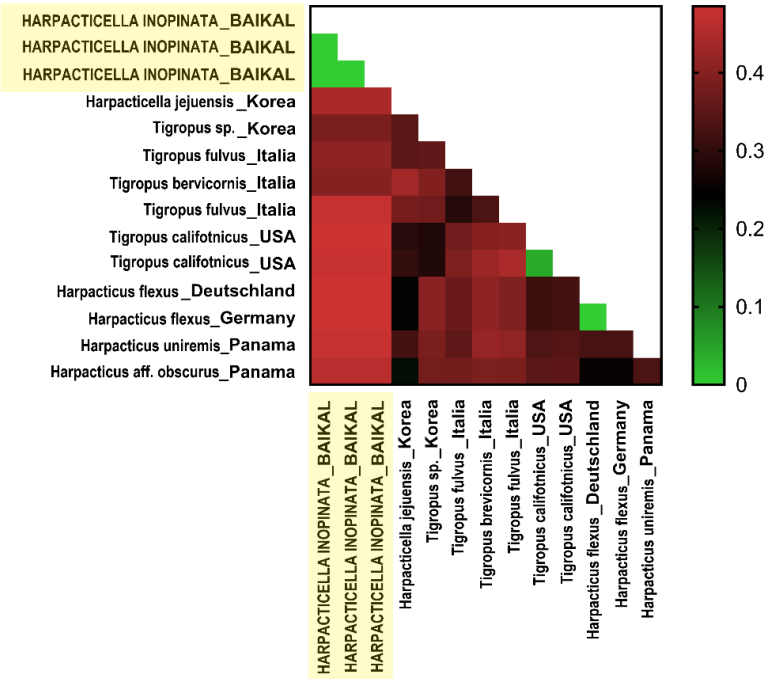


Рис. 2. Тепловая карта генетических дистанций между последовательностями гена COI видов семейства Harpacticidae, построенная методом Тамура-Нея.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00030, https://rscf.ru/project/22-24-00030.

Литература

1. Боруцкий Е.В. Harpacticoida пресных вод // Фауна СССР Т. 3, вып. 4: Ракообразные. М.–Л., 1952. 424 с.
2. Евстигнеева Т.Д., Окунева Г.Л. Гарпактициды (Harpacticoida) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 1. Новосибирск, 2001. С. 468-490.
3. Окунева Г.Л. Гарпактициды озера Байкал. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1989. 150 с.

ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В СВЕТЛОЕ И ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК ОЗЕРНОЙ РЫБОЙ *PHOXINUS (EUPALLASELLA) PERCNURUS* (PALLAS, 1814)

В.А. Пушница, Е.М. Долинская, М.А. Теплых, С.А. Бирицкая, Я.К. Ермолаева, Л.Б. Бухаева, А.И. Охолина, Д.И. Голубец, А.В. Лавникова, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»
E-mail: nittoria@mail.ru

Световое загрязнение является одной из наиболее актуальных проблем современного мира. Инфраструктура озера Байкал, как одного из самых популярных туристических мест России, активно развивается, а береговая линия с каждым годом застраивается всё больше. Растет и количество источников искусственного освещения у литорали озера. Известны исследования, посвященные изучению влияния искусственного освещения на гидробионтов прибрежных морских экосистем (Longcore, Rich, 2004; Navarro-Barranco, Hughes, 2015; Bolton et al., 2017), а также на пресноводных гидробионтов, в частности рыб (Teplykh et al., 2021). Воздействие светового загрязнения может приводить к нарушению циркадных ритмов, что в свою очередь оказывает влияние на пищевое и репродуктивное поведение рыбы. Это, безусловно, может повлечь за собой целую цепочку изменений в экосистеме самого глубокого пресноводного озера в мире. В своей работе мы решили выяснить, существует ли разница в потреблении кислорода в дневное и ночное время у особей вида *Phoxinus (Eupallasella) percnurus* (Pallas, 1814).

В районе пос. Большие Коты, в озере № 15, с помощью круглого сачка был произведён отлов рыб. Отловили деять особей, размером 7.5–8 см, по половому признаку отбор не проводился. Все особи прошли акклимацию в течение месяца в лабораторных условиях с соблюдением естественного фотопериода, при температуре воды 12 °C, с ежедневной сменой воды, по три особи на аквариум (количество воды на один аквариум – 1.5 л) с аэрацией. В качестве корма был выбран сушеный гаммарус, кормление производилось с периодичностью 1 раз в 7 дней с последующей заменой воды.

Был поставлен физиологический эксперимент: 10 повторностей в светлое (14:00) и 9 повторностей в темное (18:00) время суток. Необходимым условием проведения эксперимента было сохранение рыб в покое на протяжении всего экспериментального периода и исключение наибольшего возможного количества факторов стресса, а именно: отсутствие резких перепадов температур; содержание особей в изоляции от остальных представителей вида, а также от других видов организмов; оптимальный состав воды, исключающий агрессивные примеси; отсутствие контакта с экспериментальными рыбами вне времени эксперимента. Таким образом, влияние посторонних факторов стресса, помимо исследуемого, сводится к минимуму.

За 30 мин до проведения эксперимента оксиметр помещался в емкость с водой, температура которой составляла 12 °C. Это было сделано во избежание больших погрешностей в замерах растворенного кислорода. Непосредственно перед экспериментом отключалась аэрация в аквариумах, с помощью оксиметра для определения растворенного кислорода в воде производилось измерение потребляемого рыбами кислорода. Далее аквариумы с рыбами находились в холодильной камере в течение часа также без аэрации, после чего производились повторные замеры потребляемого кислорода.

На данный момент было сделано лишь небольшое количество измерений, однако мы уже можем наблюдать разницу в медианных значениях (рисунок). Это может подтверждать гипотезу о том, что потребление кислорода рыбами в дневное и вечернее время отличается, а присутствие светового загрязнения вблизи водоема в ночное время может оказывать на рыб негативное воздействие и менять их биоритмы.

Имеются исследования, посвященные влиянию фотопериода на энергетические показатели карповых рыб, в том числе на потребление кислорода (Ruchin, 2012). Согласно данному

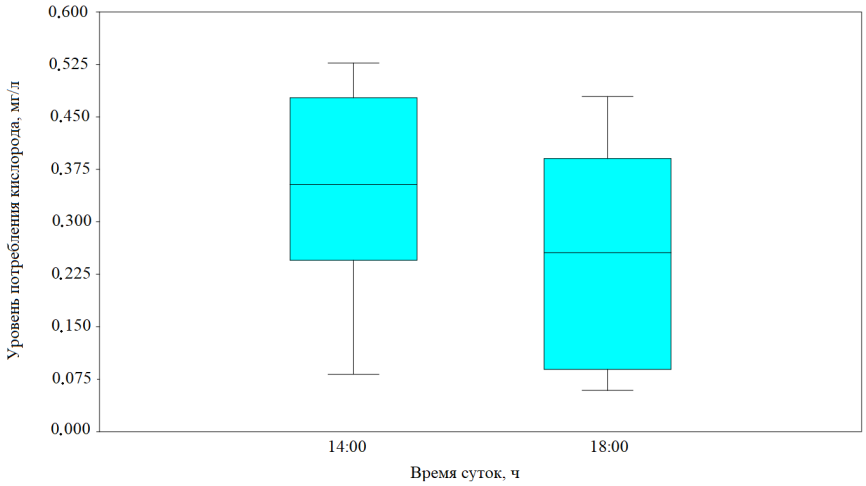


Рис. Медианные значения уровня потребления кислорода Phoxinus (Eupallasella) percnurus (Pallas, 1814) в светлое и темное время суток.

исследованию, в темноте интенсивность дыхания карповых рыб действительно снижалась относительно рыб, находящихся под воздействием освещения.

Рыбы особенно чувствительны к воздействию искусственного освещения, так как не имеют возможности закрыть, либо защитить свои глаза. Таким образом, свет является сильным раздражителем для рыб, возможным фактором стресса, а световое загрязнение – важной и актуальной проблемой.

Работа поддержана проектом Минобрнауки России No FZZE-2020-0026.

Литература

1. Bolton D., Mayer-Pinto M., Clark G.F., et al. Coastal Urban Lighting Has Ecological Consequences for Multiple Trophic Levels under the Sea // Science of the Total Environment, 2017. № 576. С. 1-9.
2. Longcore T., Rich C. Ecological Light Pollution// Front. Ecol. Environ., 2004. № 2. С. 191-198.
3. Navarro-Barranco C., Hughes L.E. Effects of Light Pollution on the Emergent Fauna of Shallow Marine Ecosystems: Amphipods as a Case Study// Marine Pollution Bulletin, 2015. № 94. С. 235–240.
4. Ruchin A.B. Influence of the photoperiod on power indicators of cyprinidae fishes// Astrakhan Bulletin of environmental education, 2012. №4 (22). С. 144-150.
5. Teplykh M.A., Ermolaeva Ya.K., Dolinskaya E.M., et al. Some data on the effect of light pollution on marine and freshwater aquatic organisms // Baikal Zoological Journal, 2021. № 2 (30). С. 30-34.

ПОЧВЕННЫЕ МИКРОАРТРОПОДЫ НА ПАСЕКАХ В ПЕРВЫЙ ГОД ПОСЛЕ РУБКИ ЛЕСА

А.А. Фатеева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: fateeva@ib.komisc.ru.

Почвенные микроартроподы (Oribatida, Collembola) играют крайне важную роль в функционировании лесных почв, они принимают участие в минерализации и гумификации растительных остатков, участвуют в почвообразовательном процессе, повышении плодородия почв (Wagg et al.,2014). Основные факторы, определяющие характер сезонных изменений численности микроартропод – температура воздуха, характер растительного опада, тип почвы, ее гидротермический режим, динамика численности микробиоты и мезофауны (Таскаева, Лаптева, 2012; Таскаева, 2015). Проведение сплошных рубок приводит к существенным изменениям лесного покрова и почв (Дымов, 2017), спаду трофической активности почвенной биоты, снижению плотности населения и разнообразия популяций микроартропод, изменению структуры их сообществ (Мелехина, 2007; Егунова, Антонов, 2015). Неизвестно, существуют ли сезонные сдвиги пиков численности микроартропод при антропогенном воздействии. В подзоне средней тайги зарегистрировано два пика численности микроатропод: весенний (в мае-июне), связанный с их массовым размножением (Чернова, 1991; Лящев, 2012) и осенний (в августе-сентябре), совпадающий с размножением некоторых видов и коррелирующий с поступлением свежего листового опада (Регуляторная роль..., 2002). Спад численности микроартропод в середине лета объясним особенностями биологии видов, некоторые панцирные клещи завершают свой жизненный цикл и погибают (Лящев, 2012), и воздействием абиотических факторов, к снижению численности коллембол приводят высокие летние температуры и недостаток влаги в почве (Кузнецова, Бабенко, 1984). Цель проведенного исследования в том, чтобы охарактеризовать сезонные изменения численности микроартропод на пасеках в первый год после рубки при естественном лесовозобновлении в условиях средней тайги.

Исследования проведены на однолетней вырубке ельника чернично-зеленомошного, расположенной в Сыктывдинском районе Республики Коми (N 61° 54.981’, E 050° 32.376’). Почвенные образцы отбирали в июне, июле, августе и сентябре 2021 г. на пасеках, являющихся наименее нарушенными технологическими площадками (Дымов, 2017), и на контрольных лесных участках, расположенных от вырубки более чем на 100 м. На каждом участке раз в месяц был осуществлен отбор трех почвенных проб размером 5x5x5 см. Итого на пасеках отобрано 36 проб (по 9 проб ежемесячно), в контрольном ельнике – 24 пробы (по 6 проб ежемесячно). Далее осуществляли выгонку микроартропод из субстрата на эклекторах и проводили их последующую идентификацию (до отряда) под бинокулярным микроскопом. Определяли относительную влажность почвы (%, для каждой пробы), температуру подстилки (в каждой точке отбора проб производили ее замеры), температуру воздуха (данные https://www.gismeteo.ru). Рассчитывали среднюю численность и ее ошибку. Достоверность различий оценивали при помощи критерия Манна–Уитни (при $p<0.05$). Статистическую обработку результатов проводили в программе Microsoft Office Excel 7.0, Statistica ver. 12 и PAST 4.0.

В результате исследований было установлено, что температура верхнего слоя почвы (0-5 см) на пасечных участках была достоверно выше, чем на контрольном участке (рис. 1 А). Относительная влажность почвы на контроле и пасеках повышалась в сентябре, менее влажные почвы – в июле. В августе почвы пасек были почти в 1.5 раза более влажными по сравнению с контролем (рис. 1 В).

Анализ сезонных изменений численности микроартропод показал значительное ее увеличение на пасеках в августе (рис. 2). Обилие коллембол и панцирных клещей снижалась в

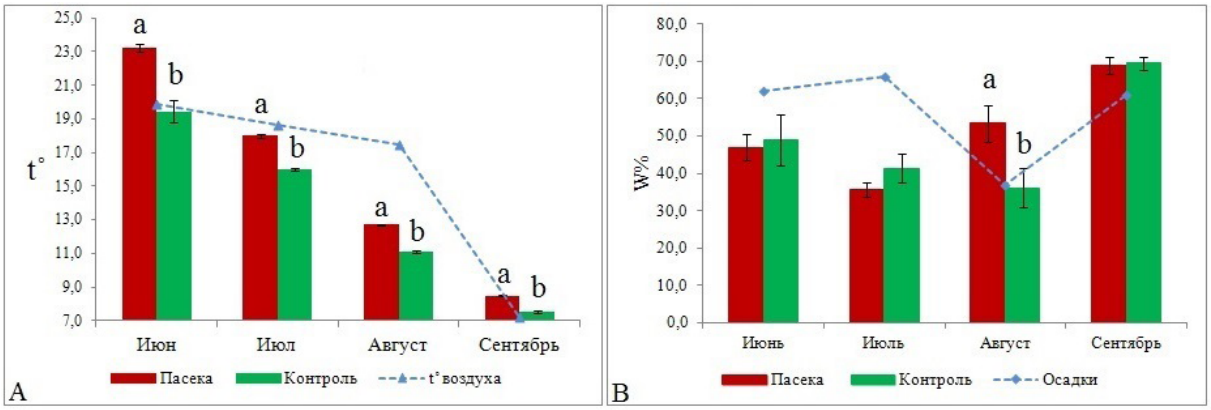


Рис. 1. Среднемесячная температура (t°) воздуха (U test; p<0.01) и температура верхнего слоя почвы (A), сумма осадков (мм) (U test; p<0,05) и относительная влажность почвы (B) на пасеках и контрольных участках.

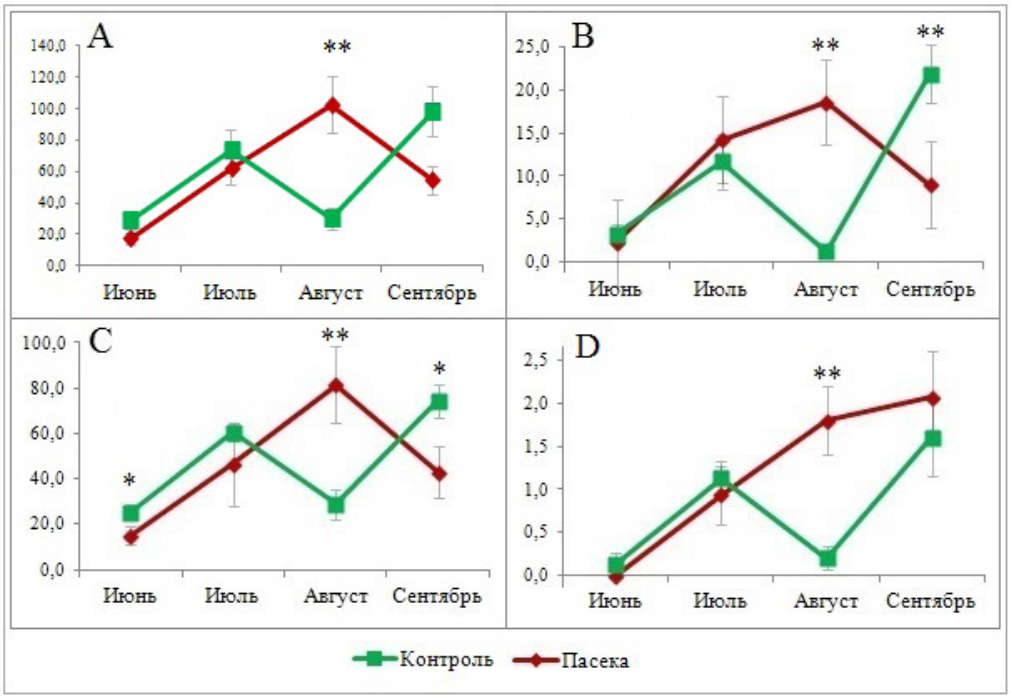


Рис. 2. Сезонные изменения численности почвенных микроартропод (A – общая, B – Collembola, C – Oribatida, D – Mesostigmata) за весь период исследования. По оси ординат – тыс. экз./м^2. (Mann–Whitney U test; * p<0.05; ** p<0.01).

сентябре, плотность гамазовых клещей, напротив, в этот период возрастала. Регрессионный анализ показал, что именно в августе на контрольных и пасечных участках влажность и температура почвы оказывали влияние на численность коллембол (r^2=0.49; p<0.01), (r^2 = 0.85; p<0.001) и панцирных клещей (r^2=0.38; p<0.05), (r^2=0.514; p<0.01).

Вероятно, пики численности микроартропод на ненарушенных участках соответствуют возрастанию биомассы почвенной микробиоты. Сезонные изменения численности микроартропод на пасеках отличаются от контроля. В теплых и увлажненных по сравнению с контролем почвах пасек происходит смещение естественной динамики численности микроарторопод, и осенний ее пик приходится на август, а не на сентябрь. Не стоит исключать значение пищевых ресурсов для почвенных сапрофагов, так как повышение численности коллембол и панцирных клещей на пасеках может происходить вслед за увеличением биомассы грибного мицелия (Стриганова, 2017), развивающегося в большом количестве на мертвой древесине (Егунова, Антонов, 2015).

Автор выражает благодарность к.б.н. А. А. Колесниковой, к.б.н. А.А. Таскаевой и к.б.н. Е.Н. Мелехиной за ценные рекомендации. Работа выполнена в рамках темы НИР отдела эко-

логии животных «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения», рег. № 122040600025-2.

Литература

1. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение, 2017. № 7. С. 787–798.
2. Егунова М.Н., Антонов Г.И. Формирование комплекса почвенных микроартропод после нарушений разного типа в подзоне Южной тайги // Вестник ВУиТ, 2015. №2 (24). С. 134–140.
3. Кузнецова Н.А., Бабенко А.Б. Многолетняя динамика численности коллембол в ельнике-зеленомошнике // Фауна и экология ногохвосток. М.: Наука, 1984. С. 57–67.
4. Лящев А.А. Экология панцирных клещей Северного Сахалина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2012. № 6. С. 56–58.
5. Мелехина Е.Н. Динамика разнообразия почвенной микрофауны под влиянием рубок леса комплексом машин «харвестер + форвардер» в условиях средней тайги республики коми // Лесное почвоведенье: итоги, проблемы, перспективы. Тезисы докладов Международной научной конференции (Сыктывкар, Россия, 4-11 сентября 2007 г.). Сыктывкар, 2007. С. 131.
6. Добровольский Г.В., Стриганова Б.Р., Гончарук Н.Ю. и др. Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем. М.: Наука, 2002. 364 с.
7. Стриганова Б.Р. Избранные труды. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 326 с.
8. Таскаева А.А. Особенности структуры населения коллембол (Hexapoda) лесных почв (Республика Коми, средняя тайга) // Вестн. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН, 2015. № 5. С. 14–18.
9. Таскаева А.А., Лаптева Е.М. Динамика сообществ коллембол (Collembola) в среднетаежных пойменных лесах // Поволжский экол. журн., 2012. № 4. С. 426–436.
10. Чернова Н.М. Основные особенности структуры и динамики популяций почвенных ногохвосток (Collembola) // Экология популяций. М.: Наука, 1991. С. 22–35.
11. Wagg C., Bendera S.F., Widmer F., van der Heijdena M.G.A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality // PNAS, 2014. V. 111. № 14. P. 5266–5270.

3 СЕКЦИЯ

СЛЕДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРВОБЫТНОГО ЧЕЛОВЕКА В ПОДЗОЛАХ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ (СТОЯНКА ЭНЬТЫ IA, ОКРЕСТНОСТИ Г. СЫКТЫВКАР)

Л.А. Вахрушев[1], В.Н. Карманов[2], Е.В. Попов[2], А.А. Дымов[3]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина
[2]Институт языка, литературы и истории ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
[3]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: l_vakhrushev@inbox.ru

Выявление информации о природной среде обитания и деятельности человека, сохранившейся в почвах – предмет «археологического почвоведения» (Дергачева, 1997). Несмотря на актуальность и популярность этого направления, исследования в современном бореальном поясе крайне редки. Для диагностики археологических «следов» используют морфологические описания, микроморфологию, анализ гранулометрического состава, содержание и распределение карбонатов и т.д. Во многих работах показана индикационная роль содержания фосфора в почвах и его значительный рост в антропогенных отложениях. На примере более южных почв, определено, что фосфор относительно устойчив в почве и может сохраняться в течении длительного времени (Гольева и др., 2018).

С целью оценки индикационной роли фосфора при исследовании археологических объектов, расположенных в современных границах средней тайги Республики Коми, мы обратились к исследованию памятника археологии Эньты I. Его выявила Э.С. Логинова в 1974 г. (Логинова, 1978). Она определила три этапа заселения данной местности (вторая половина VI тыс. до н.э., первая половина V тыс. до н.э., первая половина III тыс. до н.э.). В 2021 г. археологи ИЯЛИ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН возобновили раскопки с целью получения новых материалов и повышения информативности источников.

Стоянка Эньты IA расположена на ЮЗ берегу старичного оз. Эньты правого берега р. Вычегды, в 2 км к ВСВ от пгт. Седкыркещ Республики Коми, на 1-й надпойменной террасе. Согласно почвенно-географическому районированию, объекты исследования расположены в Вымь-Вычегодском округе типичных подзолистых, иллювиально-железистых подзолов, торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусовых почв (Атлас…, 2010). Тип леса – сосняк лишайниково-зеленомошный. Почвы: подзолы иллювиально-железистые.

На территории раскопа площадью 3х12 м были выявлены следующие объекты: две наземные постройки; углубление, заполненное углями; современные деревья; остатки современного пня; противопожарная траншея; следы упавшего дерева. Планиграфия находок показывает, что основная часть артефактов располагалась в пределах наземных построек. Участок, на котором расположен памятник, представляет собой надпойменную террасу, погребенную эоловым чехлом, который в этом месте снивелировал все неровности аллювиального рельефа. Время формирования старичного озера определено ^{14}C датированием его донных отложений. Это событие произошло в период 220–40 кал. л. до н.э.

Раскопом 2021 г. изучены остатки стоянки людей второй половины VI тыс. до н.э. Можно предположить, что вначале были сооружены и использовались наземные постройки. Затем этот участок был оставлен и люди переместили свою деятельность к югу. В результате на использовавшийся ранее участок они накидывали грунт, содержавший артефакты. Эти выво-

ды основаны исключительно на археологическом опыте, поэтому была предпринята попытка проверить данные наблюдения инструментальными методами.

Образцы отложений были отобраны на разных участках памятника с учетом наличия в них археологических находок и генетической принадлежности (E или BF). В качестве фона исследован разрез за пределами границ памятника. Определение фосфора в образцах проводили методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой согласно ПНД Ф 16.1.2.3:3.11 в Экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Помимо сравнения с фоном, было проведено сравнение содержания фосфора в иллювиально-железистых подзолах (Забоева, 1975). Минимальные концентрации фосфора выявлены в подзолистом горизонте (E). В горизонте BF наблюдается иллювиальный максимум. В горизонтах BC концентрация фосфора существенно уменьшается до 87 мг/кг почвы.

Для анализа распределения фосфора его содержание сгруппировали в зависимости от элемента раскопа. Было выявлено, что во всех элементах раскопа содержание фосфора выше, чем в фоне. При этом статистически значимое возрастание наблюдалось в местах наземных построек. Все исследуемые образцы были разделены на подзолистые и иллювиальные горизонты. Показано, что как для подзолистого, так и иллювильно-железистого горизонта, эти значения выше опубликованных (фоновых) для данных почв. Основной пул образцов был отобран на высоте от 87,22 до 87,42 м н.у.м.

Содержание фосфора в значимости от высоты местности статистически не отличается. Но при этом есть тенденция возрастания средних значений на высотах 87 м 30 см – 87 м 38 см, на которых археологически следы первобытных объектов выделялись на фоновом песке особенно отчетливо.

Представленные первые результаты по содержанию валового фосфора в почвах археологического памятника, показали, что значения варьируют от 17 до 1 100 мг/кг. Выявлено, что почвы археологических памятников характеризуются повышенными значениями фосфора по сравнению с фоновыми и литературными данными. Наиболее наглядные результаты были обнаружены с учетом не только мест отбора, а также с принадлежностью к отдельному генетическому горизонту почв. Это соответствует наблюдениям археологов.

Работа выполнена в рамках тем «Археологические источники: описание, систематизация и критический анализ (по материалам Европейского Северо-Востока России)» (№ ГР 121051400045-9) и «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ ГР 1021051101421-1-1.6.19).

Литература

1. Атлас почв Республики Коми / под ред. И.В. Забоевой, А.И. Таскаева, Г.В. Добровольского. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2010. 356 с.
2. Гольева А.А., Шутелева И.А., Щербаков Н.Б. Проблематика палеоэкологических реконструкций экспонированных культурных слоев длительного постселитебного функционирования (на примере памятников эпохи поздней бронзы, Республика Башкортастан) // Поволжская Археология, 2018. № 3. С. 45-57. https://doi.org/10.24852/pa2018.3.25.45.57.
3. Дергачева М.И. Археологическое почвоведение / под ред. И.М. Гаджиева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.
4. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1975. 344 с.
5. Логинова Э.С. Поселение Эньты I // Археологические памятники эпохи палеометалла в Северном Приуралье. Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1978. Вып. 7. С. 3-22.

ВЛИЯНИЕ ПАРЦЕЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛОВЫХ СООБЩЕСТВ НА СВОЙСТВА ОРГАНОГЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Э.А. Генрих[1], Е.М. Перминова[2], Е.М. Лаптева[2]

[1]Центр лабораторного анализа и технических измерений по Республике Коми
E-mail genrih.edvard@yandex.ru
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: perminova@ib.komisc.ru

Лесная подстилка как важнейший объект лесных экосистем (Волков, 2015; Семенюк и др., 2017), выполняющий множество функций (Иванов и др., 2018), является индикатором современного состояния лесных сообществ (Телеснина и др., 2018). Известно, что мозаичность, или горизонтальная структура, биоценоза является одним из важнейших параметров лесного биогеоценотического покрова (Орлова и др., 2011). На данный момент существуют исследования, в ходе которых были установлены закономерности пространственной изменчивости некоторых свойств почв северной тайги (Лукина и др., 2008), а также ряда параметров лесных подстилок в еловых парцеллах (Волков, 2015). Однако детальных исследований по анализу пространственного варьирования свойств органогенных горизонтов почв еловых лесов средней тайги, и в частности на территории Республики Коми, отсутствуют.

В связи с этим цель данной работы заключалась в выявлении особенностей пространственного варьирования свойств лесных подстилок в среднетаежных еловых лесах.

Исследования проводились в фитоценозе ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного на территории Усть-Куломского района в подзоне средней тайги Республики Коми. Основным объектом исследования являлся горизонт лесной подстилки в почве коренного ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного. Почвенный покров коренного ельника имел мелкоконтурный характер, что было обусловлено спецификой мезо- и микрорельефа территории. В структуре почвенного покрова рассматриваемого участка основную площадь занимали типичные подзолистые (44 %) и подзолистые глееватые (34 %) почвы. Согласно «Классификации и диагностики почв России» (2004) почвы исследуемого участка относились к типу подзолистых почв в рамках подтипа с микропрофилем подзола отдела текстурно-дифференцированных почв. В 2018 г. отбор проб проводили для оценки сезонной динамики физико-химических свойств и ферментативной активности лесных подстилок в мае, июле, августе и октябре месяце. Для оценки варьирования свойств лесной подстилки на выделенных участках закладывали 5-6 тессер, включающих парцеллы ели и парцеллы межкронового пространства («окна») (Семенюк и др., 2020). Пробы почв для исследования отбирали из прикопок, которые закладывали на глубину до 15–20 см от поверхности в различных микрозонах тессеры – в зонах прикомлевого повышения (пристволовая зона), проекции кроны (подкроновое пространство), межкронового пространства («окно»). Пробы почв для физико-химических и микробиологических исследований отбирали с учетом разделения лесных подстилок на подгоризонты O1, O2, O3, а также из подзолистого горизонта EL. Определение полевой влажности производили весовым методом. Определение pH водной вытяжки проводили потенциометрическим методом на иономере «Анион–4100» со стеклянным и проточным хлорсеребряным электродами. Содержание общего углерода и общего азота определяли на элементном анализаторе EA-1110 (Carlo Erba) по аттестованным методикам количественного химического анализа. Концентрацию углерода органических соединений определяли дихроматным методом со спектрофотометрическим окончанием (Теория и практика…, 2006).

Проведенные нами измерения мощности горизонта лесной подстилки и их усреднение по всем срокам отбора и всем зонам тессеры показали, что в среднем мощность органогенного горизонта для почвы рассматриваемого участка ельника составила 4.8±0.5 см, что соответству-

ет ранее полученным данным о мощности органогенного горизонта подзолистых почв (Атлас почв…, 2010). Установлено статистически значимое снижение мощности лесной подстилки в направление от приствoловой зоны к межкроновому пространству: соответственно 8.4±1.4 см, 5.4±0.7 см, 4.7±0.5 см. В пределах тессеры плотность подгоризонтов лесной подстилки увеличивается в направление от приствoловой зоны к межкроновому пространству от 0.07±0.01 г/см^3 до 0.10±0.02 г/см^3. Варьирование влажности лесных подстилок характеризуется схожей закономерностью. В приствoловой зоне средневзвешенные значения влажности горизонта лесной подстилки составляют 202±43 %, в проекции кроны – 261±44 %, в межкроновом пространстве – 316±46 %. Анализ кислотно-основных свойств органогенных горизонтов показал, что в исследованном нами ельнике отсутствуют статистически значимые различия между показателями кислотности лесных подстилок в различных микрозонах тессеры. В среднем актуальная кислотность горизонта лесной подстилки в межкроновом пространстве составляет 4.77±0.28, в проекции кроны – 4.83±0.17, в прикомлевой части – 4.85±0.17 ед. pH, уровень потенциальной кислотности составляет 4.21±0.37, 4.34±0.21, 4.41±0.21 ед. pH соответственно. Общей закономерностью для всех зон тессеры является увеличение кислотности (как актуальной, так и потенциальной) вниз по профилю: от подгоризонта O1 к подгоризонту O3 и минеральному подзолистому горизонту EL. Содержание углерода органических соединений в зависимости от микрозоны не имеет статистически значимых различий. При этом максимальным содержанием углерода характеризуется приствoловая зона, несколько ниже содержание углерода в зоне проекции кроны, минимум содержания приходится на межкроновое пространство – это 39.3 %, 38.7 %, 36.8 % соответственно. В профиле подстилки независимо от зоны наибольшее содержание органического углерода характерно для подгоризонта O2, где в среднем оно составляет 44.2±0.7 %, минимальное 33.3±1.7 % для подгоризонта O3, в подгоризонте O1 в среднем фиксируется 38.4±1.3 % органического углерода. О потенциальной скорости разложения растительных остатков в подстилке можно судить по отношению содержания углерода к содержанию азота (Бобкова и др., 2014). Статистически значимой разницы между зонами тессеры по данному показателю не выявлено, но имеется тенденция к снижению величины отношения C/N в направление от приствoловой зоны к межкроновому пространству и составляет 23.8±0.8 в прикомлевой части, 23.3±0.6 в зоне проекции кроны, 22.8±0.1 в межкроновом пространстве.

Таким образом, в ходе исследования были установлены физико-химических параметры органогенных горизонтов ельника чернично-зеленомошного среднетаежной подзоны Республики Коми. Показано, что наиболее вариативны в пределах тессеры такие показатели, как мощность, влажность и плотность лесных подстилок. Одновременно с этим изменения актуальной и потенциальной кислотности, содержание углерода статистически не достоверны в различных микрозонах ельника чернично-зеленомошного.

Литература

1. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
2. Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.: Наука, 2014. 270 с.
3. Волков А.Г. Лесная подстилка в парцеллах ельников северной подзоны тайги // Известия ВУЗов. Лесной журнал, 2015. № 2 . С. 63–69.
4. Иванов А.В., Браун М., Замолодчиков Д.Г., Лынов Д.В., Панфилова Е.В. Лесные подстилки как звено цикла углерода хвойно-широколиственных насаждений южного приморья // Почвоведение, 2018. № 10. С. 1226–1233.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
6. Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
7. Орлова М.А., Лукина Н.В., Камаев И.О., Смиронов В.Э., Кравченоко Т.В. Мозаичность лесных биогеоценозов и плодородие почв // Лесоведение, 2011. № 6. С. 39–48.

8. Семенюк О.В., Богатырев Л.Г., Ваганова М.А. Характеристика подстилок парковых насаждений исторических ландшафтов на примере музея-усадьбы «Архангельское» // Бюл. Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 2017. Т. 122. № 5. С. 37–49.
9. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А. И., Кузнецова Я.Д. Оценка внутрибиогеоценозной изменчивости лесных подстилок и травяно-кустарничковой растительности в еловых насаждениях // Почвоведение, 2020. № 1. С. 31–43.
10. Телеснина В.М., Семенюк О.В, Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И. Особенности напочвенного покрова и лесных подстилок в искусственных липовых насаждениях в зависимости от характера ухода // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2018. № 2. С. 3–11.
11. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М., 2006. 400 с.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ Г. КРАСНОЯРСКА

Н.Г. Глушков

Институт экологии и географии СФУ
E-mail: wantld19011997@gmail.com

Рекреация отличается от других видов природопользования своей экологичностью. Она позволяет использовать территорию лесов для нужд человека (например, для отдыха) и при этом максимально сохранить первоначальный природный облик. Но часто поднимается вопрос о влиянии рекреации на лесные массивы, ведь она может нести как положительный, так и отрицательный характер (антропогенная нагрузка). В связи с этим возникает необходимость проведения мониторинга рекреационных территорий с целью оценки состояния и сохранения зеленых массивов для рекреационного использования.

Во время исследования была поставлена следующая задача – с помощью методов дистанционного зондирования оценить изменение в состоянии зеленых массивов на исследуемой территории после внешних воздействий.

В июне 2021 г. исследовательской группой были заложены мониторинговые пробные площадки (МПП) в районе Ветлужанка г. Красноярска, неподалеку от многофункционального спортивного кластера (МСК) «Радуга», испытывающие постоянную рекреационную нагрузку в связи с расположенной вблизи биатлонной трассой. Анализ проводился в смешанном лесу с преобладанием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Территория МСК «Радуга» была предварительно изучена по спутниковым снимкам, данные взяты из программы Google Earth. Территория примечательна тем, что в ноябре 2016 г., исходя из спутниковых снимков, на участке наблюдался густой лес (рис. 1), а уже в апреле 2017 г. проложена трасса (рис. 2).

Рис. 1.

На пробных площадях был проведен перечет сосны обыкновенной по категориям состояния (Алексеев, 1989). Учет показал, что на МПП присутствуют деревья первой категории (30%) – это внешне здоровые, без признаков повреждения кроны и ствола деревья; мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны, и второй категории состояния (70%) – ослабленные деревья, т.е. деревья, у которых наблюдается снижение густоты кроны и наличие мертвых и усыхающих ветвей в верхней половине дерева. Наблюдалось незначительное отличие по внешнему виду от деревьев на контрольной площадке.

Рис. 2.

После полевых исследований велась работа по обработке данных со спутников, полученных с помощью официального сайта NASA, действующего в рамках программы NASA EOS (Earth Observing System). Данные предоставлялись посредством спутниковой системы TERRA/AQUA, в частности MOD11A1 и MYD11A1, а также MOD09Q1 и MYD09Q1 (их продукты). Первые содержат информацию о температуре подстилающей поверхности (LST). Наблюдения собираются ежедневно. Пространственное разрешение 1 км×1 км. Вторые имеют спектральные каналы sur_refl_b01 (красный) и sur_refl_b02 (ближний инфракрасный) и используются для расчета вегетативного индекса NDVI. Наблюдение проводилось за период в восемь дней. Пространственное разрешение 250 м×250 м. Основным прибором сбора необходимой информации на спутнике являлся спектрорадиометр среднего разрешения MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer).

Показатели NDVI успешно используются для различных оценок состояния и изменений в растительном покрове, поскольку значения NDVI связаны с фотосинтетически активным излучением. В данной работе показатель NDVI вычисляется по стандартной формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - \mathrm{Re}\,d}{NIR + \mathrm{Re}\,d} \quad ,$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

По данным дистанционного зондирования мы провели оценку таких показателей для сосновых древостоев в пригородных рекреационных зонах г. Красноярска. Многолетняя динамика состояния сосновых насаждений по NDVI в рекреационной зоне г. Красноярска представлена на рис. 3, из которого видно, что значимых различий NDVI деревьев до 2016 г. не наблюдалось. С началом строительства биатлонной трассы в 2016 г. различия по NDVI появились, расходясь в разные стороны.

Некоторые исследователи (Kovalev, Soukhovolsky, 2021) предлагают использовать в качестве показателя устойчивости лесного массива функцию нормализованного разностного вегетативного индекса (NDVI) восприимчивости к изменениям температуры поверхности земли (LST). Как и по NDVI, данные по LST так же можно получить с помощью спутниковой системы TERRA/AQUA. Авторы рассказывают о возможности анализа состояния древостоя на больших пространствах, которые дает ДЗЗ. С помощью вегетативного индекса можно «…оценить продуктивность и физиологические свойства растительных компонентов экосистемы. Это спектральный показатель фотосинтеза и интенсивности метаболизма растений…» (Kovalev, Soukhovolsky, 2021).

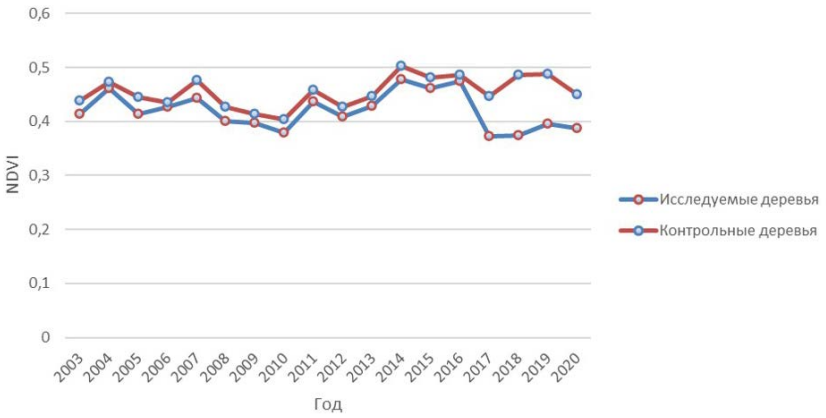


Рис. 3.

Основываясь на методе Ковалева и Суховольского, построена диаграмма (рис. 4), на которой характеристики состояния представлены в плоскости {LF, HF}, где LF – мощность низкочастотной (от 0 до 0.16 гц) составляющей спектра функции отклика, HF– мощность высокочастотной (свыше 0.35 гц) составляющей спектра функции отклика (Kovalev, Soukhovolsky, 2021).

Как следует из рис. 4, до начала строительства (2011–2016 гг.) характеристики контрольного насаждения (№ 1) и соседнего с будущей биатлонной трассой насаждения (№ 2) были близки. После строительства трассы характеристики спектров функций отклика насаждений (№ 3) (2017–2020 гг.) рядом с трассой сильно изменились. Подобные изменения указывают на влияние вырубок на функционирование насаждений, соседних с вырубленной территорией. После повреждений леса мощность LF растет по сравнению с контролем, но мощность HF в сосняках с изменившимися условиями после вырубки уменьшается в целом по сравнению с контролем (рис. 4).

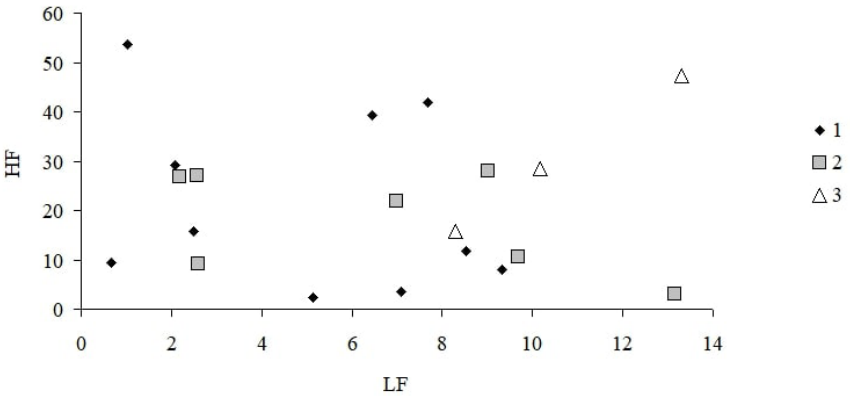


Рис. 4.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что вырубка участка леса может привести к изменению состояния соседнего насаждения. Это означает, что при различных воздействиях на лес необходимо принимать во внимание возможную реакцию соседний насаждений.

Таким образом, по величинам вегетационного индекса и поверхностной температуры были предложены интегральные показатели состояния насаждений на пробных площадях – спектры функций отклика (LF и HF). Спектры функций отклика позволяют дать оценку состояния лесных насаждений до начала внешнего воздействия (строительства биатлонной трассы в нашем случае) и после него (прекращения строительства). Спектры функций отклика помогают различать насаждения, которые будут находиться под внешним воздействием, от контрольных неповрежденных насаждений.

Литература

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение, 1989. № 4. С. 51-57.
2. Kovalev A., Soukhovolsky V. Analysis of Forest Stand Resistance to Insect Attack According to Remote Sensing Data // Forests, 2021. V. 12. № 9. P. 1188.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК НА КИСЛОТНОСТЬ, УДЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА И АЗОТА

Н.М. Горбач[1, 2], В.В. Старцев[2], А.С. Прокушкин[3], А.А. Дымов[1, 2]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: nikolay.tbo@gmail.com
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
[3]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Пожары являются общепланетарным явлением и оказывают дестабилизирующее влияние на все компоненты биосферы, регулируя их функционирование и формируя новые послепожарные экосистемы (Furyaev et al., 2001, Горбач и др., 2021). Особенно важным является вопрос изучения влияния пожаров на бореальные экосистемы, в которых депонируются огромные запасы углерода на нашей планете. В условиях Северо-Востока европейской части России преобладают низовые пожары, характеризующиеся низкой интенсивностью горения, но существенно влияющие на подстилки почв бореальных ландшафтов (Дымов, 2020). При устойчивых низовых пожарах температура горения подстилки может достигать 500–700 °С (DeBano, 2000). Лесные подстилки и почвы Северо-Востока европейской части России регулярно подвергаются воздействию пожаров, а учитывая важность почвы в круговороте углерода и азота, данная работа становится особенно актуальной.

Цель работы – изучение влияния температуры горения на кислотность, удельную электропроводность и водорастворимые формы углерода и азота лесных подстилок сосняка лишайникового и ельника зеленомошного.

Для оценки влияния пожаров на органическое вещество почв был проведен пирогенный эксперимент, в рамках которого в лабораторных условиях сымитировали условия горения подстилок типичных для данного региона лесных экосистем.

В работе анализировали подстилки, отобранные в бореальной зоне Северо-Востока европейской части России, в подзоне средней тайги Республики Коми. Территория расположена в умеренном климатическом поясе. Современные среднегодовые температуры составляют 0…–2 °С. Среднее количество осадков – 600–800 мм в год. Объектами исследования явились подстилки сосняка лишайникового и ельника зеленомошного. Образцы подстилок отбирали размером 20х20 см в трехкратной повторности в пяти точках с удалением крупных растительных остатков с поверхности подстилок (n=15). Далее образцы доводили до воздушно-сухого состояния и разбирали на подгоризонты O(L), O(F) и O(H). Подгоризонт O(L) для каждой из подстилок был разделен по фракциям, чтобы выявить массовую долю отдельных компонентов. Для дальнейшей работы разделенные образцы подстилок гомогенизировались и просеивались через сито с диаметром ячеи 2 мм.

Термическое воздействие на подстилки проводили в течение трех часов при температурах 200, 300 и 500 °С в печи для озоления Nabertherm LV9/11 P330 (Германия). Водные вытяжки образцов подстилок готовили в соотношении 1:25 (подстилка:вода). Далее в водных вытяжках были определены кислотность, удельная электропроводность, водорастворимые формы углерода и азота. Значения кислотности образцов измерялись на анализаторе pH HI 2002-02 Hanna Instruments (Румыния), анализ электропроводности проводили кондуктометром FG3 Mettler-Toledo (Швейцария). Данные о содержании водорастворимого органического и неорганического углерода ($C_{ВОВ}$, $C_{ВНВ}$) и азота ($N_{ВОВ}$) получены с помощью анализатора TOC-VCPN в эко-аналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Согласно полученным результатам, одним из наиболее существенных изменений в подстилках при нагревании является потеря ими органического вещества. Наиболее значимое снижение массы наблюдалось при 300 °С, а дальнейшее нагревание приводило к относительно

сглаженному уменьшению количества ОВ в диапазоне до 500 °С. Если потеря массы при 200 °С связана с дегидратацией, то существенное снижение массы при 300 и 500 °С обусловлено деструкцией ОВ. Во всех образцах наблюдается достоверное уменьшение значений массы. Выявлено, что наибольшая потеря массы характерна для верхних подгоризонтов подстилок.

Показано, что увеличение температуры приводит к повышению значений pH водной вытяжки. С ростом температуры наблюдается переход значений pH в щелочную область, что определяется разрушением органического материала подстилок, и его озолением. Вероятно, сильный переход в щелочную область в диапазоне температур 300–500 °С обусловлен денатурацией органических соединений и высвобождением оснований. Полученные результаты сопоставимы с результатами подобного эксперимента (Прокушкин, Токарева, 2007).

Выявлено изменение значений электропроводности, обусловленное содержанием ионов водорастворимых солей в водной вытяжке подстилок. Во всех исследуемых образцах наблюдается повышение значений электропроводности при 200 и 500 °С, с максимальными значениями при 200 °С. Полученные результаты позволяют предположить увеличение роли удельной электропроводности в водорастворимом органическом веществе подстилок, при воздействии на них высоких температур. Показано, что в образцах подстилок ельника, удельная электропроводность выше, чем в подстилках сосняка. Вероятно, к данным различиям привело преобладание мхов и листьев в фракционном составе подстилок ельника.

Установлено, что содержание водорастворимой фракции органического углерода после пирогенного воздействия может существенно увеличиваться и достигать максимальных значений при 200 °С (до 25 мг/г), далее уменьшаясь с повышением температуры. Содержание водорастворимого азота в подстилках характеризуется максимумом в исходных образцах. С повышением температуры концентрация $C_{ВОВ}$ и $N_{ВОВ}$ уменьшается. Показано, что концентрация азота в подстилках сосняка при 200 °С значительно меньше, чем в подстилках ельника. Вероятно, данное различие обусловлено исходным фракционным составом. Верхние подгоризонты подстилок сосняка имеют значительно меньшие показатели водорастворимого азота, что привело к повышенному соотношению $C_{ВОВ}/N_{ВОВ}$ при 200 °С. Нагревание подстилок способствовало к повышению содержания неорганического водорастворимого углерода ($C_{ВНВ}$), особенно в верхних подгоризонтах. Нижние подгоризонты подстилок характеризуются более низким содержанием неорганического углерода.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05111 мк.

Литература

1. Горбач Н.М., Кутявин И.Н., Старцев В.В., Дымов А.А. Динамика пожаров на Северо-Востоке европейской части России в голоцене // Теоретическая и прикладная экология, 2021. № 3. С. 104-110. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-104-110.
2. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ООО «Издательство ГЕОС», 2020. 336 с. DOI: 10.34756/GEOS.2020.10.37828.
3. Прокушкин А.С., Токарева И.В. Влияние нагревания на органическое вещество лесных подстилок и почв в условиях эксперимента // Почвоведение, 2007. №. 6. С. 698-706.
4. DeBano L.F. The role of fire and soil heating on water repellence in wildland environments: a review // J. Hydrol., 2000. V. 231. P. 195-206.
5. Furyaev V.V., Vaganov E.A., Tchebakova N.M., Valendrik E.N. Effect of fire and climate on successions and structural changes of the Siberian boreal forest // Eurasian J. For. Res., 2001. № 2. P. 1-15.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГУМИФИКАЦИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.Д. Гундерина[1,2], Р.С. Василевич[1]

[1]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: vasilevich.r.s@ib.komisc.ru
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: gunderina@ib.komisc.ru

В Республике Коми в результате деятельности предприятий деревообрабатывающей промышленности накоплены значительные объемы кородревесных отходов (КДО), что оказывает негативное влияние на объекты окружающей среды. Существующие технологии позволяют перевод КДО и продуктов их разложения в биоресурс, например, гуминовые препараты (Лаптева и др., 2020). Удобрения на основе гуматов – инновационные продукты комплексной переработки углеродсодержащего сырья, обладающие стимулирующими и адаптогенными свойствами. С другой стороны, пункты складирования КДО представляют собой уникальные объекты, в которых в условиях приближенных к природным, возможен анализ процесса трансформации природных биополимеров и эволюции структуры гуминоподобных веществ. Это определяет цель исследования нашей работы.

Исследование выполнено на участке складирования КДО в местечке Лесозавод г. Сыктывкара на разрезе глубиной 27 м. Проведен анализ структурно-функциональных параметров гуминовых кислот (ГК) методом газовой хроматографии и жидкостной гель-хроматографии, УФ спектроскопии и ИК спектроскопии. Установлено, что образование ГК происходит уже на начальном этапе разложения КДО в двух верхних слоях, что подтверждается содержанием в них ГК 0.8 и 1.3 % соответственно. Трансформация структуры ГК в этих слоях за счет увеличения кольцевого сопряжения диагностируется по интенсивному уменьшению атомного отношения *x*(H):*x*(C) (0.90) и росту коэффициента экстинкции $E_{465}^{0.001\%}$ (0.024) для ГК из слоя (1.5-3.0 м) по сравнению с образцом верхней части профиля (0-1.5 м) с показателями 0.97 и 0.015 соответственно. Данные показатели практически не изменяются до глубины 12 м, что указывает на однотипные условия и степень разложения органического субстрата (ω(ГК) достигает 2.7%). Ниже по профилю уменьшение экстракционного выхода ГК, а также рост атомных отношений *x*(H):*x*(C), вероятно, связан с более восстановительными условиями и влиянием уровня грунтовых вод.

В дальнейшем до глубины 12 м мольные отношения *x*(H):*x*(C) увеличиваются. С глубины 18 м степень конденсации ГК уменьшается, что связано с меньшей степенью разложения субстрата и косвенно подтверждается уменьшением массовой доли ГК.

Анализ ИК спектров дает возможность проанализировать процесс формирования структуры ГК с этапа деградации природных биополимеров и последующей трансформации молекул ГК. Спектры ГК, выделенных из КДО показывают их схожесть с ГК из торфов (Василевич, Безносиков, 2017), за исключением наличия интенсивного сигнала в области 1510 см$^{-1}$. Высокая интенсивность данной линии, относимой к гваяцил- и сирингилпропионовым фрагментам лигнина в составе ГК, неизменна до глубины 3 м, но значительно уменьшается вниз по профилю в слоях более гумифицированного субстрата. На начальном этапе трансформации при сопоставлении спектров ГК с глубины (0-1.5 и 1.5-3.0 м) отмечается значительный рост интенсивности линии 1608 см$^{-1}$ валентных колебаний углерода ароматических циклов (Рис. 1).

Расчет спектральных коэффициентов I_{1608}/I_{1455} отношения доли ароматических к сумме парафиновых фрагментов, показывает рост вниз по профилю с 1.12 до 1.34 до глубины 9 м, что отражает увеличение вклада конденсированных структур в ГК с увеличением степени разложения исходного кородревесного субстрата. Ниже по профилю отмечается изменение I_{1608}/I_{1455} в соответствии со степенью разложения исходного сырья. В процессе гумификации происхо-

дит уменьшение доли парафиновых фрагментов и вклада длинноцепочечных структур парафинов (n>4), что диагностируется по уменьшению сигнала дуплета 740 и 768 см$^{-1}$. Появление интенсивной линии 2975 см$^{-1}$ метильных –CH_3-групп ГК из нижних слоев свидетельствует об увеличении вклада разветвленных алифатических структур.

Анализ молекулярно-массового распределения (ММР) показывает доминирование низкомолекулярной фракции (НМФ) в ГК КДО (66.1–82.6 %), которая статистически достоверно превышает долю среднемолекулярной (СМФ) (16.7–29.3 %) и высокомолекулярной фракций (ВМФ) (0.7–4.6 %). Полученные значения среднечисловых молекулярных масс (*Mn*) имеют существенную вариацию в ГК (5.2–21.6 кДа). Значительное уменьшение *Mn* наблюдается при переходе от слоя 0-1.5 м (21 кДа) до (9.8 кДа) ГК слоя 1.5-3.0 м, что обусловлено резким уменьшением доли длинноцепочечных алифатических фрагментов, определяющих большие стоксовские радиусы молекул. Дальнейшее распределение данного показателя в ГК по профилю напрямую связано с соотношением ароматических к алифатическим структурам. Это подтверждается значимой отрицательной корреляцией *Mn* с отношением I_{1608}/I_{1455} (r= -0.89, r_{cr}= 0.75, n= 7), с атомным отношением x(H):x(C) (r= 0.88), а также со спектральными коэффициентами E4/E6 (r= - 0.96) и E2/E4 (r= - 0.82). По данным литературы E4/E6 и E2/E4 косвенно отражают ориентировочный размер молекул (Weishaar, 2003). Статистический анализ показывает, что ВМФ включает преимущественно длинноцепочечные структуры парафинов и карбогидратов, а НМФ ГК содержит более конденсированные молекулы.

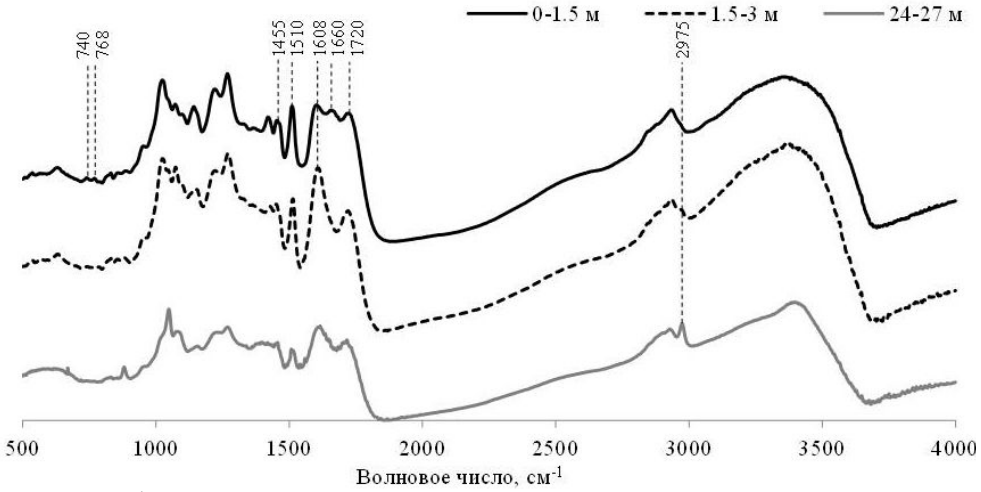


Рис. 1. ИК спектры поглощения препаратов ГК из разных слоев КДО

Литература

1. *Василевич Р. С., Безносиков В. А.* Влияние изменения климата в голоцене на профильное распределение гумусовых веществ бугристых торфяников лесотундры // Почвоведение, 2017. № 11. С. 1312–1324.
2. *Лаптева Е. М., Василевич Р. С., Лодыгин Е. Д.* Торф и отходы промышленных предприятий Республики Коми как источник востребованных инновационных продуктов – гуминовых препаратов // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2020. № 2(213). С. 35–43.
3. *Weishaar J. L., Aiken G. R., Bergamasch B. A., Fram M. S., Fujii R., Mopper K.* Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon // Environ Sci. Technol., 2003. V.37. P. 4702–4708. doi:10.1021/es030360x.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ НАЗЕМНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДРЕВОСТОЕВ

Е.С. Дин[1], С.С. Быховец[2], Н.В. Иванова[2], А.М. Портнов[2], П.В. Фролов[2], В.Н. Шанин[2], М.П. Шашков[2]

[1] Российский Университет Дружбы Народов
E-mail: zhenka.din@inbox.ru
[2] Институт Физико-Химических и Биологических Проблем Почвоведения РАН

Описание древостоя на постоянных пробных площадях позволяет получить данные для изучения популяционной структуры, демографических спектров видов, составляющих древостой, в том числе эдификаторов, а также для выявления закономерностей в пространственном распределении (Севко, Коцан, 2020; Секретенко, Грабарник 2015). Повторные описания пробных площадей являются основой изучения динамики древостоя (Овчинникова, Овчинников, 2016; Манов, Кутявин, 2019). Один из наиболее важных этапов работы в данном направлении - это картографирование древостоя, определение координат оснований стволов (комлей) деревьев (Севко, Коцан, 2020), при этом оценки точности используемого метода и полученных результатов обычно отсутствуют.

Целью данной работы является сравнение различных методов наземного картографирования древостоев.

В заповеднике «Калужские засеки» (Калужская обл.) проводилось картографирование участка постоянной пробной площади (ППП), заложенной в 1986-88 гг. под руководством проф. О.В. Смирновой в старовозрастном полидоминантном широколиственном лесу. Общая площадь ППП составляет 10800 м^2 (200×540 м). На ППП были учтены следующие деревья и кустарники: *Quercus robur* (L.), *Fraxinus excelsior* (L.), *Ulmus glabra* (Huds.), *Acer platanoides* (L.), *A. campestre* (L.), *Tilia cordata* (Mill.), *Populus tremula* (L.), *Picea abies* (L. H.Karst.), *Sorbus aucuparia* (L)., *Prunus padus* (L.), *Corylus avellana* (L.), *Betula* (L.), *Salix* (L.), *Malus* (Mill).

Во время закладки ППП было картографировано положение всех учётных единиц (деревьев с диаметром ствола на уровне груди (DBH) > 5 см). Картографирование проводилось посредством прямого измерения координат деревьев в прямоугольной системе при помощи мерных лент и сети опорных точек с заданными координатами. Подобный метод широко применялся в экологических исследованиях (Reed, Liechty, Burton, 1989).

В 2021 г. нами проведено повторное картографирование всех учетных деревьев на участке ППП размером 40×40м. Для обеспечения точности съемки на участке была сформирована прямоугольная сеть опорных точек с заданными локальными координатами с шагом 20 м. Картографирование проводили двумя методами – с помощью угломерной (полярной) съемки и триангуляцией.

Суть первого метода заключается в том, что от опорных точек проводится измерение азимута и расстояния до ствола учётного дерева (с учетом его диаметра) на уровне измерительного прибора. Для измерений использовался лазерный дальномер-угломер Laser Technology TruPulse 360 B.

При триангуляции проводится измерение расстояния от опорной точки, на которой располагался измерительный прибор, до ствола учётного дерева, и угла падения лазерного луча к стволу учетного дерева (с учетом диаметра ствола). Для данного метода вышеперечисленные величины измерялись с двух смежных точек для каждого учётного дерева. Измерения проводили с помощью лазерного дальномера Bosch GLM 100.

Полученные данные были обработаны в среде R (R Core, 2021): на основе результатов угломерной съёмки и триангуляции были рассчитаны прямоугольные координаты и построены план-схемы древостоя. Полученные планы были верифицированы в поле. Затем по 3 наборам координат рассчитаны расхождения (Евклидовы расстояния) между координатами одних и тех

же учётных деревьев, определенных разными методами. В анализ были включены координаты деревьев, учтенных в 1986-1988 гг. и сохранившихся до 2021 г. Всего на исследованном участке ППП сохранилось 77 таких деревьев (из 111, учтенных в 1988 г.).

В результате были построены план-схемы древостоя (рис. 1). Выяснено, что координаты, измеренные разными методами, имеют различия. Расчёты показали, что разница координат одного дерева, полученных угломерной съемкой и измерением 1988 года, находится в пределах 0.10-3.45 м (среднее 1.3 м), по данным триангуляции и измерения 1988 года – 0.05-3.45 м (среднее 1.5 м), по данным угломерной съемки и триангуляции – 0.05-0.60 м (среднее 0.4 м) (рис.2). Сравнение координат по угломерной съемке и триангуляции показало, что для 75% деревьев

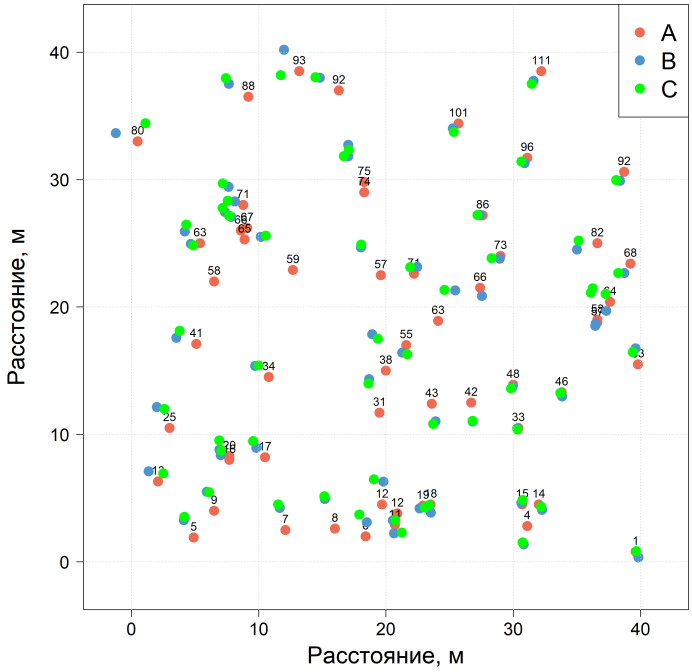


Рис. 1

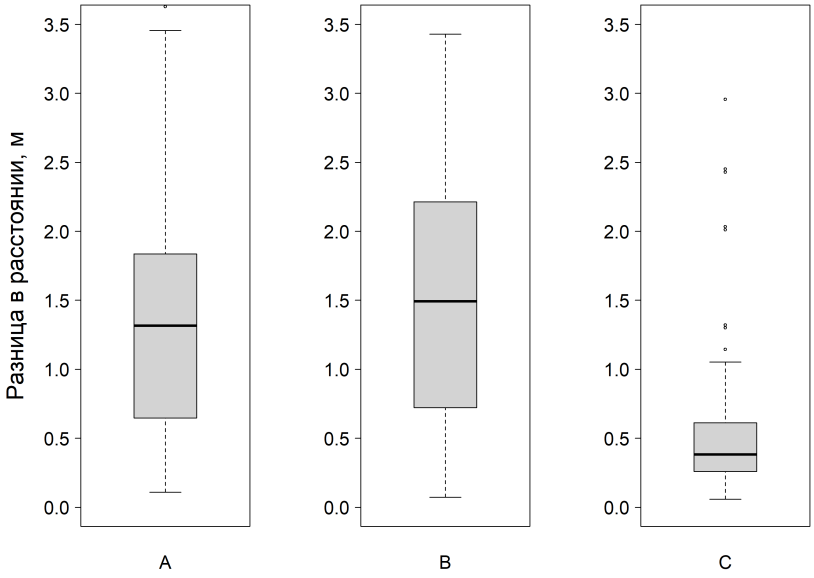


Рис. 2

разброс составлял всего 30-50 см. Сравнение данных методов показало незначительный разброс между ними, что позволяет получать сопоставимые результаты при использовании обоих методов. Тем не менее, расхождение в координатах превышает погрешность измерений (которая была ранее эмпирически выявлена в процессе работы на других ППП и которая составляет 0.2-0.3 м). Хотя данная разница находится в приемлемых пределах, абсолютное сходство

между угломерной съемкой и триангуляцией отсутствует. Различия в определении координат между угломерной съемкой и измерением 1988 года оказалось примерно на 0.4 м меньше, чем различие между триангуляцией и измерением 1988 года.

Сравнение угломерной съёмки и триангуляции с картографированием 1988 года показало значительное расхождение в определении координат деревьев. Такой результат может быть связан с особенностью проведения измерений, а также учитывая тот факт, что в измерениях 1988 года использовалась другая сеть опорных точек. Можно сказать, что разница между угломерной съёмкой и триангуляцией меньше, чем между любым их этих двух методов и архивными данными, что говорит об адекватности результата измерения координат деревьев, следовательно, при картографировании древостоя можно использовать любой из них, в зависимости от навыков и наличия необходимого оборудования.

Литература

1. Манов А.В., Кутявин И.Н. Горизонтальная структура древостоев и подроста северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в приуралье // Лесной журнал, 2018. № 6. С. 78-88.
2. Овчинникова Н.Ф., Овчинников А.Е. Динамика структуры осинового древостоя в черневом поясе западного Саяна // Лесоведение, 2016. №6. С.418-425.
3. Севко О. А., Коцан В. В. Анализ влияния пространственной структуры на таксационные показатели в сложном древостое // Труды БГТУ, 2020. Сер. 1. №2. С.16-21.
4. Секретенко О. П., Грабарник П. Я. Анализ горизонтальной структуры древостоев методами случайных точечных полей // Сибирский лесной журнал, 2015. № 3. С. 32–44.
5. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical. Computing, Vienna, Austria. URL: https://www.R-project.org/ [дата обращения: 28.07.2021].
6. Reed D.D., Liechty H.O., Burton A.J. A Simple procedure for mapping tree locations in forest stands // Forest Science, 1989. V. 35(3). P. 657–662. DOI:10.1093/forestscience/35.3.657.

ОБЗОР ВЛИЯНИЯ МНОГОВИДОВОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА ЗАПАС УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

В.Н. Иванова

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
E-mail: lv.val.lentina@gmail.com

Современный мир стоит на пути достижения углеродной нейтральности. Почвы лесов депонируют до 64% атмосферного углерода (Замолодчиков и др., 2007). Однако современные леса зон Восточной Европы сформировались в результате длительной антропогенной деятельности, поэтому представляют собой монокультурные сообщества хозяйственно ценных пород (ель и сосна). Данная модель лесовосстановления формирует уязвимые к болезням и вредителям леса, снижает их биологическое разнообразие.

Актуальным направлением становится разработка подходов к повышению углерод депонирующей емкости лесных экосистем путем восстановления их природных аналогов с естественным высоким уровнем биоразнообразия. Целью исследования является оценка зависимости запаса углерода в почвах от состава древесной растительности при разных сценариях лесовосстановления методом анализа научной литературы. Поиск литературы проводился в ноябре-марте 2022 на платформе Google Scholar и комбинации ключевых слов. Был проведен первоначальный обзор документов, в результате которого составлены обзорные статьи и оригинальные исследования.

В исследованиях отмечается более высокое содержание органического углерода в почвах под пологом дубовых (4.25%) и смешанных с преобладанием дуба (3.25-3.65%) древесных насаждениях по сравнению с аналогичными сосновыми (2.84%) и смешанными с доминированием сосны (3.08%) фитоценозами (Наумов, 2019). С другой стороны, имеются данные, в которых влияние пород на запас углерода в почве не было достоверно подтверждено (Menyailo, 2002). При исследовании 6-ти пород (ель, сосна, лиственница, береза, осина и кедр) диапазон содержания органического углерода под хвойными группами перекрывал лиственные (Меняйло, 2009). Также не было обнаружено достоверного влияния типа леса при анализе 30- и 50-летних еловых и березовых древостоев (Mikola, 1985).

Возможно, для понимания полной картины влияния растительности на биогеохимические процессы, необходимо выделять больше рассматриваемых групп древесной растительности. Также, в смешанных хвойно-лиственных лесах необходимо учитывать влияние пород друг на друга. По данным опыта (Лебедев, 2010) только при соотношении насаждений березы и ели в сосново-березовых фитоценозах 1 к 3 соответственно, наблюдается значительное увеличение продуктивности всего древостоя. В данной смеси продуктивность березы достоверно возрастает на 16% (по сравнению с контролем 100Б). Продуктивность сосны лимитируется межвидовой конкуренцией, а березы – внутривидовой.

Подстилка лиственных биоценозов содержит большее количество углерода, чем подстилка аналогичных хвойных лесов (Солодовников, 2015). Это связано с более богатым опадом лиственных культур. Также опад лиственных пород деревьев, в отличие от хвойных, способствует образованию высокомолекулярных фракций гуминовых кислот, что благотворно сказывается на лесорастительных свойствах почв (Гришина, 1986). Однако из-за интенсивной минерализации лиственного опада, запас углерода выше в подстилке еловых и сосновых древостоев (Зонн, 1954). Учитывая все вышесказанное, можно говорить о безусловной выгоде смешанных хвойно-лиственных лесов и необходимости их повсеместного восстановления.

Для дальнейшего изучения данной темы необходимо оценить запасы почвенного углерода в разных типах леса при разных сценариях лесовосстановления. Следует расширить список анализируемых древесных пород, так как сегодня изучаются, в основном, 3 породы – ель, сосна и береза, что может приводить к неверным результатам при обобщении в две группы – хвойных и лиственных.

Литература

1. Гришина Л.А. Элементарные почвенные процессы формирования органопрофиля почв // Всесоюз. науч. конф. «Агропочвоведение и плодородие почв»: Тез. докол. Органическое вещество в почвообразовании и плодородии почв, 1986. С. 4-5.
2. Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение, 2007. №6. С. 23-34.
3. Зонн С.В. Влияние леса на почвы. М. Изд-во Академии наук СССР, 1954. 160с.
4. Кузнецова А.И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки, 2021. Т. 4. №4. Статья №95. С. 1-54.
5. Лебедев Е.В. Фотосинтез, минеральное питание и биологическая продуктивность растений березы повислой и сосны обыкновенной при совместном выращивании // Лесной вестник, 2010. №5. С. 15-19.
6. Мартынова М.В. Депонирование углерода лесами, расположенными на землях лесного фонда республики Башкортостан // Российский электронный журнал, 2021. №2(40). С. 161-168.
7. Меняйло О.В. Влияние древесных пород Сибири на скорость минерализации почвенного органического вещества // Почвоведение, 2009. №10. С. 1241-1247.
8. Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева // Известия ТСХА, 2019. №4. С. 5-18.
9. Солодовников А.Н. Показатели плодородия почв под лиственными и хвойными лесами в среднетаежной подзоне северо-запада России // Современные проблемы науки и образования, 2015. №6.
10. Kurz W., Apps M. A 70-year retrospective analysis ofcarbon fluxes in the Canadian forest sector // Ecological Applications, 1999. V. 9. №2. P. 526–547.
11. Menyailo O.V., Hungate B.A., Zech W. Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experiment // Plant and Soil. 2002. V. 242. P. 171–182.
12. Mikola M. The effect of tree species on the biological properties of forest soil // Nat. Swed. Env. Protect, 1985. P. 1–29.

ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНЫХ СЕРВИСОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ МЕЗОРЕЛЬЕФА В ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ГОРОДА

Е.М. Илюшкова, М.В. Тихонова, Я.С. Жигалева, А.В. Бузылёв

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
E-mail: li060698@yandex.ru

В настоящее время в экологии активно развиваются представления об экосистемных сервисах. Они представляют собой услуги и процессы, посредством которых природные экосистемы и виды поддерживают и осуществляют человеческую жизнь, сохраняют биологическое разнообразие и производство экосистемных благ.

Лесные экосистемы – это уникальные компоненты нашей планеты. Они занимают около трети площади суши (38 млн км^2). Экосистемные услуги лесов важны для поддержания существования людей. Их можно разделить на несколько категорий: регулирующие, поддерживающие, ресурсосберегающие и культурные. Наиболее важными экосистемными услугами лесов является: сохранение биологического разнообразия, обеспечение существенными экономически ценностями, формирование почв и контролирование циклов элементов питания, регулирование газового состава атмосферы и биохимических циклов.

Непрерывный технический прогресс, индустриализация, до неузнаваемости изменившая поверхность Земли, стали причинами глобальных экологических проблем. Главными из которых являются: перенаселение, загрязнение атмосферы и гидросферы, сокращение площади лесов, деградация почвенного покрова и глобальное изменение климата, связанное с увеличением парниковых газов: углекислый газ (CO_2), оксид азота (I) (N_2O)) и метан (CH_4). Важнейшая экосистемная услуга лесов – смягчение изменения климата. В лесах сконцентрировано около 50% мирового наземного запаса органического углерода, а лесная биомасса составляет около 80% наземной биомассы. Две трети глобальной наземной нетто - первичной продукции создается в лесах. Снижение скорости деградации лесов и восстановление лесного покрова способствуют ослаблению изменений климата (Тихонова, Спыну, 2021; Спыну и др., 2021).

Наблюдения проводились подекадно в период с 2019 года по настоящее время на территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Она является фоновым объектом для экологического мониторинга в северной части г. Москва. Ключевые участки расположены по трансекте с северо-востока на юго-запад, различаются вариантами мезорельефа, древесной и напочвенной растительностью, а также различным уровнем антропогенной нагрузки (рис. 1).

Ключевые участки заложены на различных вариантах мезорельефа: участок № 3 расположен на выположенной вершине моренного холма – ВМХ и является автоморфной системой

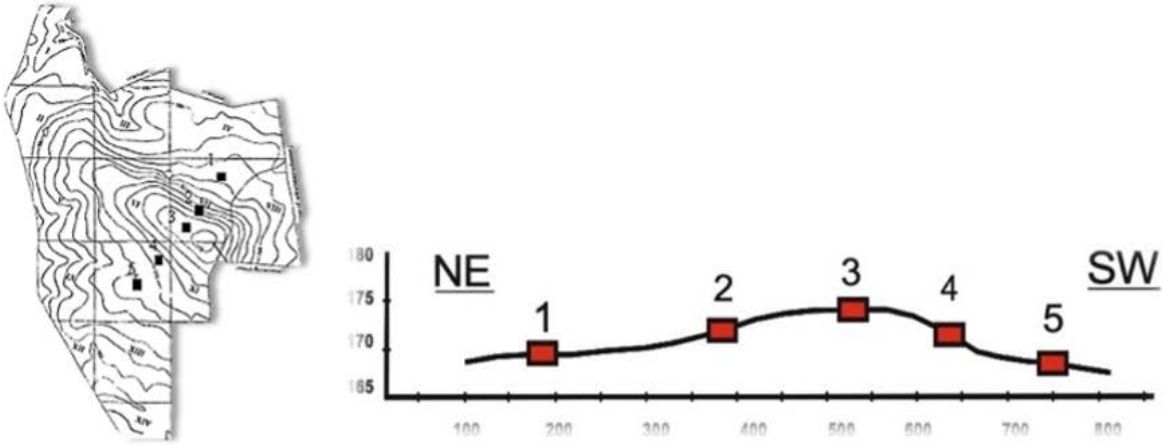


Рисунок 1 - План-схема ключевых участков ЛОД

с глубоким залеганием грунтовых вод. Исследуемые участки №1 и №2 заложены на прямом слабопокатом коротком склоне моренного холма северо-восточной экспозиции: в средней – 2 (ССВ), и в нижней части склона 1 (ПСВ). Участки №4 и №5 расположены на противоположном пологом склоне повышенной длины юго-западной экспозиции: в средней и нижней части склона слабовогнутой формы (СЮЗ и ПЮЗ) [1,3].

При выполнении работы использовались полевые и лабораторные методы. Метод ключевых участков, используемый при изучении компонентов экосистемы на небольших репрезентативных площадках («ключах»), которые представлены в виде условных квадратов размером 50х50 метров. Метод лесной таксации включает в себя комплексную оценку состояния древостоя и изучение состояния фитоценоза по общепринятым методикам. В полевых условиях производился отбор почвенных проб по ГОСТ 28168. С помощью экспозиционных камер проводили отбор проб почвенного воздуха. В лабораторных условиях отобранные образцы почвы анализировались на содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Пробы почвенного воздуха анализировали на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000» с целью определения объемной доли CO_2. После чего рассчитывали эмиссию диоксида углерода.

В ходе выполнения исследований удалось определить породный состав ключевых участков и оценить уровень антропогенной нагрузки. На участке 1 (ПСВ) доминирующими видами являются липа сердцелистная (*Tilia cordata*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и клен остролистный (*Acer platanoides*). На участке 2 (ССВ) наиболее распространены такие виды, как береза повислая (*Betula pendula*), липа сердцелистная (*Tilia cordata*). Что касается участке 3 (ВМХ), то там наблюдаются дуб черешчатый (*Quercus robur*), сосна обыкновенна (*Pinus sylvestris*) и липа сердцелистная (*Tilia cordata*). И на участке 4 (СЮЗ) доминирующими видами является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и клен остролистный (*Acer platanoides*). На заключительном 5 участке (ПЮЗ) наибольшее распространены сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и клен остролистный (*Acer platanoides*). Наибольшая степень деградации и уровень антропогенной нагрузки отмечается на участках 1 (ПСВ), 2 (ССВ) и 3 (ВМХ). Содержание органического вещества (%) в дерново-средне-подзолистой почве на исследуемых участках колеблются в интервале от 3.11 до 6.84. Набольшее значение отмечается на участке №5 (ПЮЗ) – 6.84%, где доминирующей породой является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Наименьшее значение отмечается на ключевом участке №2 (ССВ) с доминирующей породой – липа сердцелистная (*Tilia cordata*). За период с 2019 года по настоящее время в исследованиях проводятся наблюдения за почвенной эмиссией CO_2. Максимальный поток CO_2 (мг CO_2/м^2 день) отмечается в сентябре 2019 года – 24.31 на участке №4 (СЮЗ) (доминирующая порода - сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*)). Наименьшее значение было определено на ключевом участке №2 (ССВ) в августе 2021 года и составляет 1.055 (мг CO_2/м^2 день) с доминирующими породами береза повислая (*Betula pendula*) и липа сердцелистная (*Tilia cordata*).

Литература

1. Жигалева Я. С., Бузылев А. В. Экологическая оценка биоразнообразия и устойчивости растений в условиях городского леса на примере лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Вестник МНЭПУ, 2021. Т. 1. № S. С. 124-132.
2. Тихонова М. В., Спыну М. Т. Функционально-экологическая оценка пространственно -временной изменчивости эмиссии потоков парниковых газов в посадке ивы пурпурной на городских почвах // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сб. мат. всерос. школы-семинара, посвященной памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка (Пермь, 22–23 апреля 2021 г.). Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 430-432.
3. Тихонова М. В., Таллер Е. Б., Бузылев А. В. Экологическая оценка пространственно-временного варьирования органических веществ в дерново-подзолистой почве на различных вариантах мезорельефа территории городского леса в г. Москва // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сб. мат. всерос. шко-

лы-семинара, посвященной памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка (Пермь, 22–23 апреля 2021 г.). Пермь: ПГНИУ, 2021. С. 110-113.
4. Спыну М. Т., Илюшкова Е. М., Жигалева Я. С., Тихонова М. В. Функционально-экологическая оценка пространственно-временной изменчивости эмиссии потоков парниковых газов на территории экологического стационара РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки : мат. Национальной научно-практической конф. молодых ученых (Ижевск, 17–19 ноября 2021 г.). Ижевск: ИГСА, 2021. С. 296-299.

ОЦЕНКА СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ И СТРУКТУРЫ БИОМАССЫ В АГРОЦЕНОЗАХ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

О.Л. Комиссарова, О.Е. Денисова, Ф.С. Егоров, Т.А. Парамонова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения
E-mail: Komissarova-olga93@yandex.ru

В Тульской области широко развито сельское хозяйство: 77 % земельного фонда области занимают сельскохозяйственные угодья, из которых на долю пашни приходится 79 % земель (Доклад о состоянии и использовании земель…, 2021).

Важной характеристикой функционирования агроценозов является запас биомассы сельскохозяйственных культур, в том числе его изменения с учетом роста и развития растений. Изучение показателей запаса и структуры биомассы растений в агроценозах необходимо для анализа и прогнозирования урожайности, а также поиска путей увеличения продуктивности агроценозов (Минеев, 2004).

Для оценки сезонной динамики запасов биомассы и выявления особенностей структуры агроценозов были выбраны сельскохозяйственные угодья, приуроченные к агрочерноземам глинисто-иллювиальным Тульской области, на которых выращивались кукуруза, чеснок, рапс, люпин.

Натурные наблюдения проходили с мая по сентябрь 2021 года. На выбранных опорных площадках проводился отбор надземной и подземной частей биомассы растений с площади 2500 см^2 в трехкратной повторности, а также измерялась высота надземной части растений и длина корней. После отбора образцов подземной биомассы происходила их промывка от примесей почвенного мелкозема под проточной водой на системе сит с ячейками 1 мм и 0,5 мм. Подземная часть чеснока разделялась на луковицы и корни.

В период проведения полевых работ были зафиксированы фазы роста и развития сельскохозяйственных культур. В мае были отобраны чеснок и рапс, в июне и июле помимо указанных культур добавились кукуруза и люпин. В августе к моменту проведения полевых работ землевладельцем был убран рапс, а во второй половине августа – чеснок и люпин. В сентябре оставался агроценоз с кукурузой, которая достигла полной спелости и готовилась к уборке (таблица 1).

В ходе исследования были определены биометрические характеристики растений. Высота надземной части растений увеличивалась по мере роста и развития культур. Длина корней

Таблица 1

Фазы роста и развития сельскохозяйственных культур в период пробоотбора на агроценозах Тульской области

Культура	Май (28.05-29.05.2021)	Июнь (18.06-21.06.2021)	Июль (10.07-12.07.2021)	Август (06.08-08.08.2021)	Сентябрь (18.09-19.09.2021)
Кукуруза	нет данных	6-7 листьев	12-15 листьев	цветение, образование початков	початки, зерна восковой спелости
Чеснок	4-5 листьев	5-6 листьев, начало образования стрел	5-6 листьев, цветение	увядание листьев, цветение	нет данных
Рапс	цветение	цветение и образование стручков	плодоношение (восковая пелость)	нет данных	нет данных
Люпин	нет данных	цветение	образование стручков	плодоношение (полная спелость), увядание растений	нет данных

заметно изменялась у кукурузы в период активного роста растений. У остальных представленных сельскохозяйственных культур длина корней не имела выраженной динамики роста в течение вегетативного периода растений (таблица 2).

Таблица 2

Биометрические характеристики растений агроценозов Тульской области

Культура	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Высота надземной части побега, см					
Кукуруза	нет данных	38 ± 3*	163 ± 12	252 ± 6	240 ± 9
Чеснок	40 ± 3	49 ± 5	71 ± 5	68 ± 4	нет данных
Рапс	138 ± 5	157 ± 8	160 ± 5	нет данных	нет данных
Люпин	нет данных	47 ± 2	64 ± 2	69 ± 2	нет данных
Длина корней, см					
Кукуруза	нет данных	9 ± 1	21 ± 2	23 ± 3	23 ± 2
Чеснок	5 ± 1	7 ± 1	7 ± 2	10 ± 1	нет данных
Рапс	17 ± 2	18 ± 2	21 ± 3	нет данных	нет данных
Люпин	нет данных	11 ± 1	19 ± 1	21 ± 2	нет данных

Оценка биологической продуктивности агроценозов показала, что из всех представленных сельскохозяйственных культур наибольший общий запас биомассы имели кукуруза и рапс за счет биомассы надземной части растений. Значения биомассы надземных побегов сельскохозяйственных культур увеличивались в течение вегетативного периода. Подобную динамику накопления биомассы имели также луковицы чеснока. Изменение запасов биомассы корней в течение вегетативного сезона было менее выражено по сравнению с побегами. Однако для кукурузы можно отметить значительное увеличение запасов биомассы корней в период активного роста и развития растений с июня по начало июля (рис. 1).

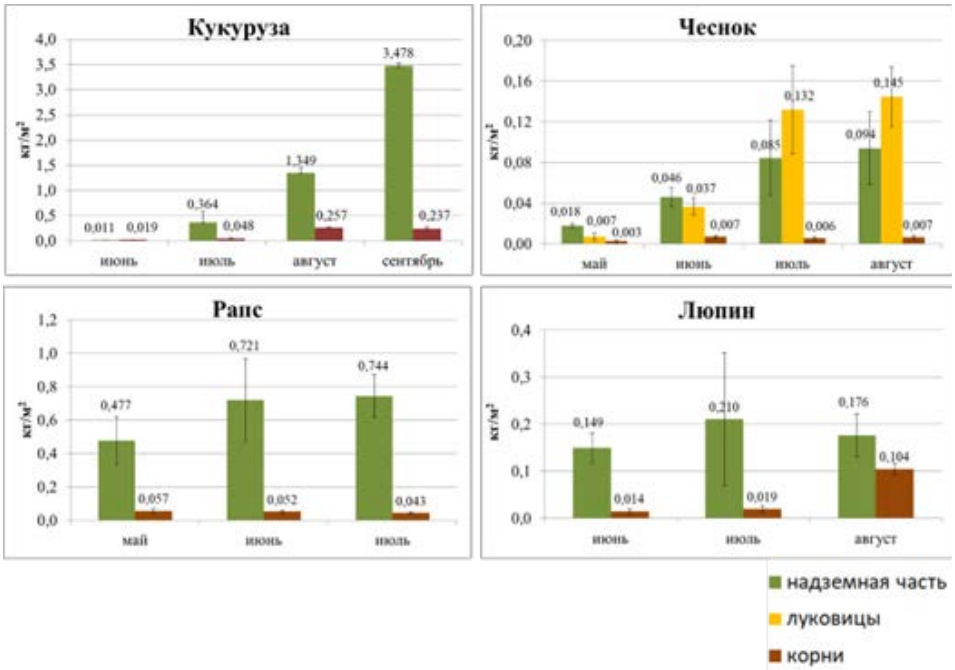


Рис. 1. Динамика биомассы сельскохозяйственных культур, выращиваемых в Тульской области

Таким образом, основная доля биомассы агроценозов черноземной зоны Тульской области пришлась на надземную часть: надземная биомасса кукурузы и рапса составила 70-80%, люпина – 60% от общих запасов биомассы этих растений. Для агроценоза, занятого чесноком, в мае и июне превалировала биомасса надземной части растений, а в июле и августе – биомасса луковиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90119.

Литература

1. Доклад о состоянии и использовании земель в Тульской области в 2020 году // Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тульской области.
2. Минеев В.Г. Агрохимия. М: Изд-во МГУ, Колос С, 2004. 720 с.

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПЕПТИДОВ ПОЧВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ХРЕБТА БОЛЬШОЙ ПАЙПУДЫНСКИЙ)

М.А. Королёв

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: mihailkorolev1997@gmail.com

Значительная часть территории «высоких широт» Уральского горного хребта в силу своей труднодоступности остается малоизученной. Наименее изученными являются почвы, сформированные на карбонат-содержащих породах. Региональные особенности почв на известняках выявлены для более южных природных зон – от таежной до лесостепной. Для тундровой зоны горных ландшафтов такие работы единичны (Конюшков, 1991). Обширная территория региона, особенности геоморфологии и сложно расчлененный рельеф обуславливают значительное биоразнообразие наземных экосистем, а широкое распространение различных по генезису и происхождению горных почвообразующих пород определяют существенное разнообразие различных типов и подтипов почв (Дымов, Жангуров, 2011).

Наряду со слабой изученностью компонентов почвенного покрова в геохимически сопряженных ландшафтах, актуальной задачей современности является выявление роли органического вещества в процессах почвообразования. В тундровой зоне неоднородность распределения органических форм углерода и азота в почвах тесно взаимосвязана с мозаичностью растительности (Шамрикова и др., 2020). В этой связи Полярный Урал с широким развитием массивно- и редкоостровных многолетнемерзлых пород является одним из наиболее перспективных и приоритетных объектов для почвенно-географических исследований.

Целью работы является определение аминокислотного состава пептидов почв Полярного Урала (на примере северной части хребта Большой Пайпудынский), сформированных на карбонатных породах.

Район исследований находится в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу ручья Развильный (67° 13′ 29′′ с.ш.; 65° 38′ 17′′ в.д.), где широко развиты выходы массивных мраморизованных известняков на дневную поверхность, имеющих нижнедевонский возраст (Шамрикова и др., 2020). В качестве непосредственных объектов исследования выбрано семь ключевых участков (уч.) в горно-тундровом поясе на высотном профиле (рис. 1). Общие концентрации углерода и азота в образцах почв измерены с помощью анализатора Carlo Erba EA-1100 CHN (Италия). Содержание карбонатов определено объемным методом с использованием кальциметра 08.53 Eijkelkamp (SA07, США-Нидерланды). Массовые доли неорганического азота оценены фотометрически (КФК-3, Россия). Количественный и качественный состав гидролизуемых аминокислот почв определён с помощью анализатора AAA T339 (Microtechna, Чехия).

Анализ аминокислотного состава пептидов почв и наземной фитомассы выявил наличие 19 аминокислот: нейтральные – глицин Gly, аланин Ala, валин Val, изолейцин Ile, лейцин Leu, пролин Pro; отрицательные – аспаргиновая кислота Asp, глутаминовая кислота Glu; гидроксимоно-аминокарбонатные – серин Ser, треонин Thr; положительные – лизин Lys, гистидин His, аргинин Arg; ароматические – тирозин Try, фенилаланин Phe и серосодержащие – цистеин Cys, метионин Met.

Аналогичный перечень характерен для гидролизатов почв разного генезиса, гумусовых кислот, а также растений и почвенных микроорганизмов (Мошкина, 2009). Это указывает на довольно однообразный качественный состав АМК подобных объектов. Содержание АМК пептидов почв и фитомассы достигает 800 ммоль/кг (рис. 2), отмечено снижение их содержания с глубиной во всех профилях за исключением почв на вершине хребта, где инверсия накопления

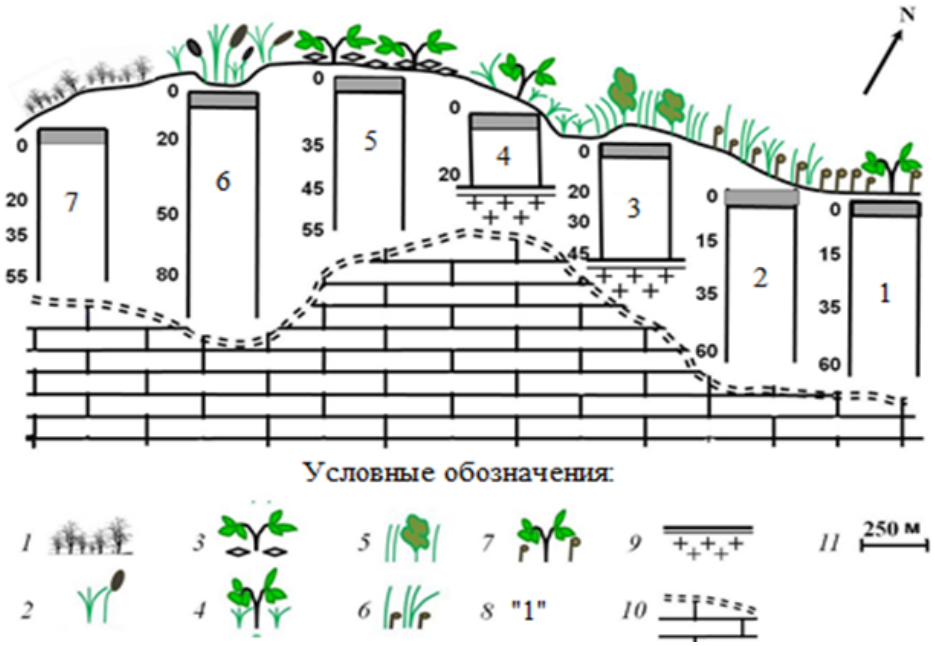


Рис 1. Месторасположение почвенных разрезов и растительных сообществ. Легенда: 1 – кустарничково-дриадово-моховая тундра; 2 – высокотравный луг; 3 – дриадовая тундра; 4 – дриадово-травяная тундра; 5 – травяно-ивковая тундра; 6 – травяно-осоково-моховая тундра; 7 – дриадово-моховая тундра; 8 - № почвенного разреза; 9 – резкое подстилание плит в нижней части почвенного разреза; 10 – мраморизованные известняки; 11 – горизонтальный масштаб.

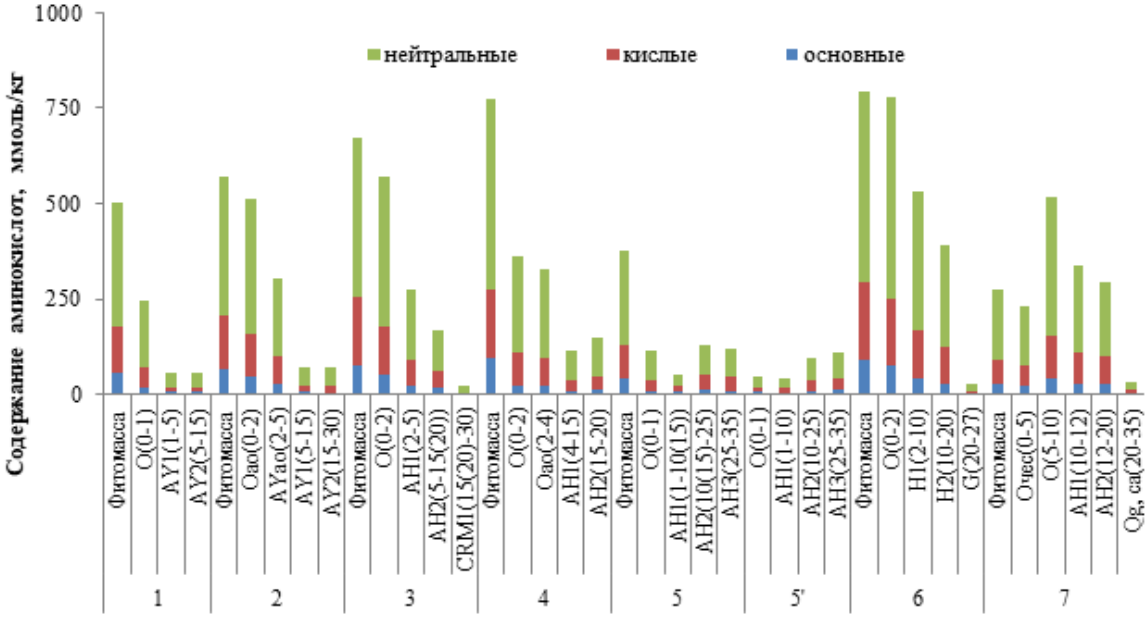


Рис 2. Аминокислотный состав пептидов почв и фитомассы.

АМК связана с криотурбационными процессами, вызванными максимальным промерзанием почвы на вершине увала. Здесь же четко выражен криогенно-пятнистый характер микрорельефа.

Доля азота аминокислот в верхних горизонтах составляет от 43 до 52 % от органического азота, вниз по профилю этот показатель уменьшается до 20–40 %. Во всех объектах доминируют нейтральные АМК (60–70 %), являющиеся наиболее устойчивыми (Василевич и др., 2015), выражено преобладание полярных аминокислот (до 70 %). Доля ароматических аминокислот составляет 2–8 %.

Углерод аминокислот всех объектов составляет 4–15 % от их органического углерода; азот аминокислот – 22–53 и 54–71 % от общего органического азота почв и фитомассы соответственно. Изменение содержания азота аминокислот для почв идентично распределению

почвенного органического азота (R^2 = 0.925, p = 0,000, n = 38). Подобная взаимосвязь выявлена и в отношении углерода почв и аминокислот (R^2 = 0.952, p = 0.000, n = 21).

Абсолютное содержание Asp и Glu от поверхностного горизонта к нижележащей толще уменьшается до 7 раз (участок 2), что может быть связано с их большей растворимостью и вымыванием из почв (Никольский, Рабинович, 1964). Помимо отрицательных аминокислот, существенно снижается количество Tyr до 18 раз (участок 2), Ile до 13 и Arg до 14 (участок 4). Кроме того, все названные аминокислоты, как прекурсоры, могут участвовать в биосинтезе других аминокислот, избирательной адсорбции глинистыми минералами, минерализации, могут быть поглощены растениями и микроорганизмами и др. (Мошкина, 2009; Moon et al., 2016).

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР "Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов" (№ 1021051101421-1-1.6.19) и проекта РФФИ № 20-04-00445а "Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)".

Литература

1. Василевич Р.С., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Груздев И.В., Лодыгин Е.Д. Высоко и низкомолекулярные органические соединения в тундровых торфяниках // Теоритическая и прикладная экология, 2015. №1. С. 53–61.
2. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Морфолого-генетические особенности почв кряжа Енганэпэ (Полярный Урал) // Почвоведение, 2011. № 5. С. 515–524.
3. Конюшков Д.Е. Почвообразование на карбонатных породах в континентальной субарктике (на примере севера Средней Сибири) // Диссертация на соискание ученой степени к.г.н. Москва, 1991. 254с.
4. Мошкина Е.В. Азотные соединения в почвах Северо-Западной России и динамика их под влиянием антропогенного воздействия (на примере Карелии) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.с./х.н. СПб, 2009. 19с.
5. Никольский Б.П., Рабинович В.А. Справочник химика / Т. 2. Основные свойства неорганических и органических соединений. М.-Л.: Химия, 1964. 1162 с.
6. Шамрикова Е.В., Жангуров Е.В., Кулюгина Е.Е., Королёв М.А., Кубик О.С., Туманова Е.А. Почвы и почвенный покров горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала на карбонатных породах: разнообразие, классификация, распределение углерода и азота // Почвоведение, 2020. № 9. С. 1053–1070.
7. Moon J., Ma Li, Xia K., Plant W.M.A. Microbial and mineral contributions to amino acid and protein organic matter accumulation during 4000 years of pedogenesis // Soil Biology and Biochemistry, 2016. V. 100. P. 42-50.

СОСТАВ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОЧВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

О.С. Кубик

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kubik-olesia@yandex.ru

В настоящее время в отечественном почвоведении выявлено отсутствие системных представлений о генезисе и свойствах почв прибрежной зоны северных морей в силу их труднодоступности (Орешникова и др., 2012; *Цейц*, Добрынин, 1997; *Черноусенко* и др., 2001). Вместе с тем, актуальность изучения почв береговой зоны Арктики возрастает в связи с глобальными изменениями климата (ACIA, 2004; IPCC, 2001). Образование и накопление органического вещества в почвах прибрежных территорий регулируются совместным влиянием литолого-геоморфологических, биоклиматических и геокриологических условий, определяющих специфические черты почвообразования. Вместе с тем тип водного режима и кислотность среды являются существенными факторами влияющая на подвижность органического вещества и органо-минеральных компонентов, процессы коагуляции/пептизации коллоидных систем, окислительно-восстановительные процессы, реакции осаждения/растворения. Поэтому цель работы заключалась в выявлении особенностей распределения низкомолекулярных компонентов почв прибрежной территории Баренцева моря.

В качестве непосредственных объектов исследования были выбраны участки маршевых почвы среднего уровня, расположенные на надпойменных террасах рек, несущих во время приливов (нагонов) большой объем морской воды вглубь материка, и тем самым обеспечивающих периодическое затопление участков исследования: I – Хайпудырская губа, устье р. Ханавэйяха (68°19′49.4″с.ш., 59°31′07.8″в.д.), почва маршевая дерново-глеевая супесчаная (Tidalic Fluvisol (Arenic, Ochric, Epiprotosalic), II – Хайпудырская губа, устье р. Море-Ю (68°18′26.5″с.ш., 59°44′12.8″в.д.), почва маршевая примитивная дерново-глеевая тяжелосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Loamic, Ochric, Epiprotosalic), III – Печорская губа, устье р. Черная (68°36’24.9”с.ш., 056°33’17.8”в.д.), почва маршевая дерново-глеевая легкосуглинистая (Tidalic Fluvisol (Arenic, Ochric)). Для интерпретации полученных данных и более четкого понимания источников углерода и азота в качестве объектов дополнительно представлена аналитическая характеристика фитомассы представителей видов, доминирующих в напочвенном покрове средних маршей: смесь обычных злаков (*Elymus fibrosus*, *Bromopsis inermis*, *Festuca rubra*) и осок (*Carex sp.*) сырых лугов, а так же смесь галофитов (*Carex subspathacea* и *Triglochin maritimum*) приморского засоленного луга.

*1. Содержание связан*ных аминокислот *(*АмК*)* проводили методом жидкостной хроматографии. Представители наземной биомассы растений побережий средних маршей содержат 90-130 г/кг гидролизуемых АмК, которые вносят определенный вклад в общее содержание углерода и азота в фитомассе – 10-16 и 50-70 % соответственно. Биоматериал растений засоленных местообитаний более обогащен белковыми АмК, чем почвы маршей, где максимальное содержание характерно поверхностным горизонтам почв, понижаясь с глубиной в пределах от 18 до 4.5 г/кг (и составляет 10 и 30-50 % от $C_{орг}$ и $N_{орг}$ почв соответственно). Все это свидетельствует о существенном вкладе углерода и азота аминокислот в элементный фонд почв прибрежных территорий. Соотношение разных групп АмК в общем их составе для почв и фитомассы близки для группы основных АмК (10-13 %). В почвах маршей низкого уровня, по сравнению с фитомассой растений, доля нейтральных АмК, как наиболее устойчивых в почве (Василевич, Безносиков, 2015), в среднем в 1.2 раза выше при пониженном соотношении кислых АмК в 1.5 раза. Для всех объектов исследования в общем перечне индивидуальных АмК основные различия содержания сводятся к изменению четырех мажорных соединений: для солеустойчивых растений при повышенном содержании доли аспарагиновой и глутаминовой кислот (12-20

%) наблюдается снижение значений глицина и лейцина (5-6 % и 7-9 % соответственно), для маршевых почв показатели данных представителей групп АмК – близки (9-13 %). Одним из механизмов адаптации растений к засолению является повышенное содержанием нейтральной аминокислоты пролина, доля которой достигает 14 %, в маршевых почвах – 6-7 %.

2. Содержание водорастворимых низкомолекулярных органических соединений (НМОС)$_{H2O}$ почв определяли методом ГХ/МС. Наибольшее количество водорастворимых низкомолекулярных органических соединений (кислот, спиртов, углеводов) экстрагировано из биомассы растений – 1.5-6.7 г/кг. В почвах маршей среднего уровня абсолютное содержание (НМОС)$_{H2O}$ не превышает 25 мг/кг. Это связано с тем, что миграционная способность органических соединений в почвах уменьшается под влиянием растворов с высокой ионной силой (Шамрикова и др., 2017). Для солеустойчивых растений соотношение доли каждого класса соединений от общего количества идентифицированных водорастворимых НМОС в среднем составляет 10-20 % – для кислот и спиртов, 50-80 % – для углеводов. Исключение представляют осоки, в которых при низком содержании углеводов (20 %) отмечено повышенное содержание кислот (60 %). Высокая доля низкомолекулярных органических кислот является особенностью состава водорастворимых метаболитов растений, подверженных стресс-фактору. В маршевых почвах доля кислот в общей массе идентифицированных соединений составляет 10-40 %, **к доминирующим** соединениям кислой природы относятся молочная и гликолевая кислоты (5-35 и 10-50 % соответственно). Вклад спиртов незначителен (1-7 %) и представлен преимущественно рибитолом (20-80 %) и мио-инозитолом (20-55 %). Углеводы составляют наибольшую долю от идентифицированных классов соединений в засоленных почвах (70-90 %), наибольшей встречаемостью отличаются такие представители, как арабиноза и глюкоза (10-60 % каждая).

В ходе проведенной работы по изучению закономерностей накопления индивидуальных органических соединений почв и фитомассы прибрежной территории Баренцева моря можно заключить, что особенности состава доминирующих органических соединений, образующихся в ходе функционирования растений, а так же в процессе их разложения определяют направленность природного гумусообразования. Параметры относительного содержания НМОС по отдельным классам являются более информативными показателем по сравнению с абсолютными значениями.

Автор признателен д.б.н., доценту Е.В. Шамриковой за научные консультации.

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР "Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов" (№ 1021051101421-1-1.6.19) и проекта РФФИ № 20-04-00445а "Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)".

Литература

1. Василевич Р.С., Безносиков В.А. Аминокислотный состав гумусовых веществ тундровых почв // Почвоведение, 2015. № 6. С. 685-692.
2. Орешникова Н.В., Красильников П.В., Шоба С.А. Маршевые почвы Карельского берега Белого моря // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение, 2012. № 4. С. 13-20.
3. Цейц М.А., Добрынин Д.В. Морфогенетическая диагностика и систематика маршевых почв Карельского беломорья // Почвоведение, 1997. № 4. С. 411-416.
4. Черноусенко Г.И., Орешникова Н.В., Украинцева Н.Г. Засоление почв побережья северных и восточных морей // Почвоведение, 2001. № 10. С. 1192-1206.
5. Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С., Пунегов В.В., Кызъюрова Е.В., Боброва Ю.И., Зуева О.М. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря // Почвоведение, 2017. № 11. С. 1325-1335.

6. ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. UK: Cambridge University Press, 2004. 140 p.
7. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. UK: Cambridge University Press, 2007. 18 p.

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА С АТМОСФЕРНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ И МИГРАЦИИ С ПОЧВЕННЫМИ ВОДАМИ В ДОМИНИРУЮЩИХ ЛЕСАХ БРЯНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

А.И. Кузнецова, А.В. Горнов, М.В. Горнова, Д.Н. Тебенькова, А.Д. Никитина

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
E-mail: nasta472288813@yandex.ru

Дана оценка поступления углерода с атмосферными выпадениями и выноса с почвенными водами и его связь с запасами углерода в разных типах леса хвойно-широколиственной зоны на почвообразующих породах песчаного гранулометрического состава. Эта проблема актуальна в связи с изменением климата и вкладом лесов в сток углерода.

Объекты исследования – доминирующие хвойно-широколиственные леса заповедника Брянский лес: сосняки кустарничково-зеленомошные бореальнотравные, сосняки сложные бореально-неморальнотравные и полидоминантные широколиственные с елью неморальнотравные. Для оценки объема и состава атмосферных и почвенных вод в каждом типе леса установлено по 6 осадкопримников, 6 снегоприемников и по 3 гравитационных лизиметра конструкции Дж. Дерома в соответствии с генетическими горизонтами дерново-подзолов. При отборе и хранении образцов использовали критерии, предложенные в Руководстве UNECE-CLRTAP ICP по лесам, Часть XIV. Содержание РОУ определялось методом термокаталитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией на анализаторе общего углерода/азота TOC-VCPN после фильтрации пробы через мембранный фильтр M-Millipore с диаметром пор 0.45 мкм.

В среднем за двулетний период (2017-2018 гг) наблюдений поступление углерода с дождевыми и снеговыми осадками в сосняках кустарничково-зеленомошных и сосняках сложных оказалось выше на 3 кг/га, чем в хвойно-широколиственных лесах. Вынос органического углерода из органогенных горизонтов в полидоминантных широколиственных лесах в среднем в 4.8 раза ниже, чем в сосняках кустарничково-зеленомошных и в 2.8 раза ниже, чем в сосняках сложных. Показана взаимосвязь между потоками РОУ и запасами углерода твердой фазы почв. Отмечена тенденция к более высокой концентрации РОУ в почвенных водах сосновых лесов, что может быть обусловлено мощной подстилкой, отличающейся низким качеством опада. Внутрипрофильное распределение РОУ свидетельствует о закреплении части углерода в минеральной части профиля в сосняках сложных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90137

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЛИЧИЯ МИКРОПЛАСТИКОВЫХ ЧАСТИЦ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А.С. Кузьмина, А.А. Ершова, И.Н. Макеева

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: kuzmina_a98@yahoo.com

Регион российской Арктики в настоящее время очень активно осваивается человеком, многократно возрастает транспортная нагрузка, что неминуемо приводит к антропогенной трансформации экосистем и загрязнению природной среды Арктики. Один из новых видов загрязнения арктических морей - микропластик (частицы пластика менее 5 мм), поступающий с течениями из Атлантического и Тихого океана, со стоком сибирских рек, а также напрямую от таких источников как судоходство и рыболовство. На сегодняшний день пока очень немного известно о путях распространения микропластика в арктическом регионе, исследования начаты всего несколько лет назад.

Целью данного исследования является оценка содержания частиц микропластика в донных отложениях некоторых морей российской Арктики на основе данных натурных наблюдений. Главной задачей данного исследования была обработка и анализ проб донных отложений, полученных в ходе экспедиции 4 этапа программы ТРАНСАРКТИКА-2019 в осенний период 2019 г. (Ершова и др., 2020), анализ полученных данных и сравнение с результатами других исследований.

Отбор проб производился на российском арктическом шельфе в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Всего было отобрано 6 проб донных отложений с глубин от 40 до 190 м. Отбор проб грунта производился с поверхностного горизонта донного осадка до глубины 1-3 см с помощью коробчатого дночерпателя Бокс Корер. Пробы консервировались и герметично упаковывались для дальнейшей транспортировки и анализа в лаборатории в РГГМУ (Санкт-Петербург).

На первом этапе проводился выбор оптимального методического подхода лабораторной обработки проб в связи с тем, что исследования донных отложений в Российской Арктике проводятся впервые в мире. Количественная лабораторная обработка проб проходила в несколько этапов (рис. 1) и включала все необходимые работы по пробоподготовке и обработке:

Рис 1

1. Определение содержания сухого вещества в пробе (10 мл пробы высушивалось в алюминиевом бюксе при 105 °С в течение 2 часов).

2. Плотностное разделение в растворе хлорида цинка (плотность раствора 1.82). Данный этап предполагалось производить с помощью делительной воронки, как это принято в большинстве современных исследованиях для минимизации лабораторного загрязнения пробы. Однако ввиду того, что данный вид отложений имел форму очень тонкодисперсного илистого осадка, образец при контакте с хлоридом цинка мгновенно цементировался и забивал узкий слив делительной воронки. Поэтому было принято решение проводить этап плотностного разделения в лабораторном стакане, куда помещалась гомогенизированная проба (примерно 200 г), и после взвешивания, заливалась 300 мл раствора хлорида цинка, перемешивалась и оставлялась отстаиваться на сутки. Через 24 часа верхний слой раствора декантировался с помощью пипетки и ложки и фильтровался на нейлоновый фильтр с размером ячейки 80 мкм.

3. Для удаления органического вещества фильтр с осажденным веществом проходит стадии обработки реактивом Фентона: 30%-ной H_2O_2 и катализатором Fe (II), а также 4,5%-ной соляной кислотой HCl для дополнительного растворения трудноразлагаемого органического материала. После проба высушивалась при комнатной температуре и анализировалась с помощью оптического микроскопа с 40-кратным увеличением.

На данный момент исследованы 2 пробы из Восточно-Сибирского моря. В них найдено 14 и 7 частиц соответственно, что при пересчете на сухой вес составляет 83,6 и 144,9 частиц/кг сухого веса. Больше всего обнаруженных частиц находится в размерном диапазоне 500-1000 мкм, чуть меньше частиц размером 100-300 мкм. Основную часть обнаруженных частиц составляют черные, синие и прозрачные волокна, не имеющие клеточной структуры.

Следующий этап обработки проб предполагал качественный анализ выборочных образцов МП с помощью ИК-спектрометрии (или Рамановской спектроскопии комбинационного рассеяния).

Полученные результаты можно сравнить с подобными исследованиями по всему миру. Например, в проливе Фрама, соединяющем Арктику и Атлантику, было обнаружено в среднем 4356 частиц МП/кг сухого веса (Bergmann et al., 2017). В остальных регионах мира цифры меньше: 416 частиц/кг в Средиземном море (Tata et al., 2020), 34 частицы/кг в Балтийском море (Zobkov et al., 2016), 123 частицы/кг в Желтом море (Zhao et al., 2018) и 240 частиц/кг на западе Тихого океана (Zhang et al., 2020). Возможно, различия обусловлены различием размерного диапазона определяемых частиц в разных исследованиях, но в целом содержание микропластика в донных отложениях исследованных морей сибирской Арктики немного ниже, чем в других регионах. При этом наблюдаемые в изучаемом районе концентрации микропластика в поверхностном слое воды (1 – 7 частиц/м^3) также являются самыми низкими из всех исследованных морей Арктики (Ершова и др., 2020).

Литература

1. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика, 2021. №2. С. 164-177.
2. Bergmann M., Wirzberger V. Krumpen T., Lorenz C., Primpke S., Tekman M.B., Gerdts G. High Quantities of Microplastic in Arctic Deep-Sea Sediments from the HAUSGARTEN Observatory // Environmental Science&Technology, 2017. №51. С. 11000-11010.
3. Tata T., Belabed B.E., Bououdina M., Bellucci S. Occurrence and characterization of surface sediment microplastics and litter from North African coasts of Mediterranean Sea: Preliminary research and first evidence // Science of The Total Environment, 2020. №713. С. 136664.
4. Zhang D., Liu X., Huang W., Li J., Wang C., Zhang D., Zhang C. Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean // Environmental Pollution, 2020. №259. С. 113948.

5. Zhao J., Ran W., Teng J., Liu Y., Liu H., Yin X., Cao R., Wang Q. Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China // Science of The Total Environment, 2018. C. 637-645.
6. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results // Marine Pollution Bulletin, 2016.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОГЕННО ЗАСОЛЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ Р. ЧЕРНАЯ

Е.Е. Малышкина, И.В. Пахоруков

Пермский государственный национальный исследовательский университет
E-mail: lionofcintra@yandex.ru

Увеличение ареала засоленных почв является одной из актуальных экологических проблем. Засоление может возникать как в результате естественных процессов, так и под влиянием антропогенной деятельности, что приводит к снижению продуктивности биоценозов и сокращению биоразнообразия (Иванищев и др., 2020).

Одной из причин вторичного засоления является техногенное галохимическое загрязнение почв, которое может быть вызвано выбросами с предприятий промышленности, добычей нефти, образованием техногенных рудоносных хвостохранилищ и шламохранилищ. В Пермском крае очаги техногенного засоления связаны с производством калийных удобрений, сопровождаемым складированием солевых отходов, которые создают потенциальную опасность развития солончакового процесса (Пахоруков, Еремченко, 2020).

Цель настоящего исследования – изучить свойства аллювиальных почв в долине р. Черная, находящейся под воздействием минерализованных вод от солеотвала БКПРУ-3.

На трех участках русла реки Чёрной были заложены почвенные разрезы до глубины водонасыщенных грунтов и собраны материалы для дальнейшего анализа. Растительность на исследуемых почвах была представлена травянистыми видами: бескильницы расставленной (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), лебеды раскидистой (*Atriplex patula* L.), пырея ползучего (*Elytrigia repens* Nevski), мари сизой (*Oxybasis glauca* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch) и др. Диагностика почв проведена в соответствии с современной классификацией почв (Классификация…, 2004). В отобранных образцах почв потенциометрическим методом определяли pH водной и солевой вытяжек. Ионно-солевой состав изучали в водной вытяжке (в соотношении 1:5): HCO^{3-} - титрованием раствором серной кислоты, SO_4^{2-} – весовым методом, Cl^- - аргентометрическим методом по Мору, Ca^{2+} и Mg^{2+} - комплексонометрическим методом, Na^+ и K^+ - пламенно-фотометрическим методом (Унифицированные методы…, 1973).

В соответствии с Классификацией и диагностикой почв России (2004) были диагностированы следующие почвы: аллювиальная серогумусовая глеевая хлоридная натриевая солончаковая почва, аллювиальная серогумусовая глеевая сульфатная натриевая солончаковая почва и аллювиальная серогумусовая глеевая сульфатная натриево-кальциевая солончаковая почва. Для всех трех почв был характерен одинаковый набор генетических горизонтов: AY - серогумусовый, AY/Cg~ ~ - переходный к почвообразующей породе, CG~ ~ - глеевая почвообразующая порода.

Изучение состава водной вытяжки из аллювиальных почв, находящихся под постоянным воздействием минерализованных вод от солеотвала, показало, что водорастворимые соли присутствуют во всех горизонтах, а максимальное их содержание в переходных горизонтах (рис.1). По величине плотного остатка первый разрез можно охарактеризовать как очень сильнозасоленный, второй и третий разрез – как слабозасоленные. Содержание токсичных солей ($NaCl$, $MgCl_2$, Na_2SO_4) в почвенных слоях 0-20 см варьировало в пределах от 0.05 до 0.76%.

В аллювиальной серогумусовой глеевой хлоридной натриевой солончаковой почве (разрез №1) химизм засоления натриевый, хлоридный, реакция почвенной среды варьировала от резкокислой (pHвод = 4.97) до нейтральной (pHвод = 6.96). Содержание водорастворимых гидрокарбонатов в почвах было незначительным. Количество хлоридов варьировало от низких значений (1.31 мг (экв)/100г) до очень высоких (35.65 мг (экв)/100г). Количество сульфат-ионов находилось в пределах 0.93-18.31 мг (экв)/100г. Среди катионов в водной вытяжке доминировал ионы Na^+, их количество составляло от 1.07 до 31.60 мг (экв)/100г. Стоит отметить, что содержание ионов K^+ в почвенном профиле превышало суммарное количество Ca^{2+} и Mg^{2+}.

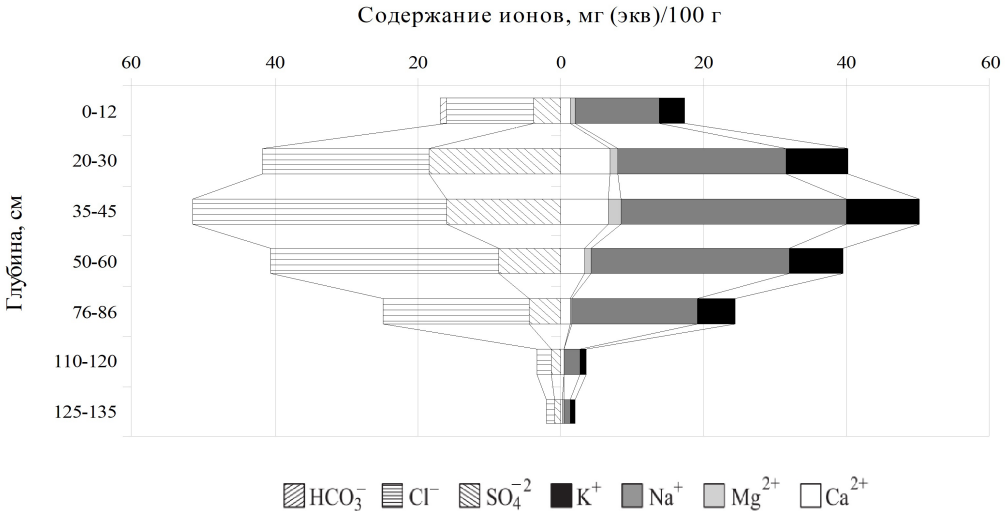


Рис. 1

Реакция среды в аллювиальной серогумусовой глеевой сульфатной натриевой солончаковой почве (разрез №2) изменялась от резкокислой (pHвод = 4.71) до нейтральной (pHвод = 7.54). Химизм засоления – сульфатный, натриевый. Доминирующими анионами в водной вытяжке оказались сульфаты – от 0.96 мг (экв)/100г до 5.85 мг (экв)/100г. Количество хлоридов находилось в пределах 0.43-2.23 мг (экв)/100г. Среди катионов в исследуемых образцах значительно преобладали ионы K^+ (0.71-3.29 мг (экв)/100г). Количество ионов Na^+ превышало сумму содержания ионов кальция и магния и варьировало от 0.77 мг (экв)/100г до 2.13 мг (экв)/100г.

Актуальная кислотность в профиле аллювиальной серогумусовой глеевой сульфатной натриево-кальциевой солончаковой почвы (разрез №3) изменялась от сильнокислой (pHвод = 5.28) до слабощелочной (pHвод = 8.24). Среди анионов преобладали сульфат-ионы (0.52 – 4.44 мг (экв)/100г), содержание хлоридов варьировало от 0.38 мг (экв)/100г до 0.69 мг (экв)/100г, водорастворимые гидрокарбонаты присутствовали в незначительном количестве. Содержание ионов K^+ превышало ионы Na^+ – 0.54-1.88 мг (экв)/100г и 0.37-1.11 мг (экв)/100г соответственно, количество кальция и магния было незначительным.

Таким образом, исследуемые почвы несколько отличались по кислотно-основным свойствам. Наиболее контрастной была реакция среды в почве из разреза №3, она варьировала от сильнокислой, нейтральной и до слабощелочной. Среди исследуемых почв наибольшим засолением обладала аллювиальная серогумусовая глеевая хлоридная натриевая солончаковая почва (разрез №1), что обусловлено высоким содержанием натриевых солей. Особенностью почв разрезов №2 и №3 является преобладание ионов калия над ионами натрия, что нехарактерно для природных засоленных почв. Избыток K^+ обусловлен его поступлением вместе с отходами калийного производства.

Литература

1. Иванищев В.В., Евграшкина Т.Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растения / Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2020. № 3. С. 28-42.
2. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с
3. Пахоруков И.В., Еремченко О.З. Свойства вторично засоленных аллювиальных почв в таежно-лесной зоне Прикамья / Сибирский лесной журнал, 2021. № 3. С. 76-86.
4. Унифицированные методы анализа вод / Отв. ред. Ю. Ю. Лурье. Изд. 2-е, испр. М.: Химия, 1973. 376 с.

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ЭВТРОФНОГО ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.А. Митина

Сибибирский государственный медицинский университет
E-mail: aleona.mitina.2002@mail.ru

В Западно-Сибирском регионе сосредоточено почти 39% мировых запасов торфа. Сибирский федеральный округ находится на втором месте (34.4 млрд. т или 21.8% прогнозных ресурсов России) по запасам торфа. На Томскую область приходится 67.9 % торфяных ресурсов Сибирского округа.

Среди огромного количества болот Томской области наиболее перспективными в смысле возможности их освоения являются низинные болота, сосредоточенные в долинах большинства обских притоков. Но изученность торфяных ресурсов Томской области невысока и большая часть торфяных ресурсов не используется.

В торфах содержится широкий спектр органических и минеральных веществ. Среди них особое внимание уделяется гуминовым кислотам (ГК). Свойства, состав и количественное содержание ГК зависят от степени разложения исходного сырья, способов их выделения. В свою очередь от физико-химических свойств ГК зависит и их биологическая активность, используемая в медицине при создании лекарственных препаратов.

Для исследования были выбраны торфа с двух пунктов эвтрофного месторождения Таган (Томская область, Томский район) (Голубина, 2015; Голубина и др., 2019). Пункт 1 – естественный участок торфяного месторождения, расположен в генетическом центре торфяного месторождения, подстилающая порода – сапропель. Мощность торфяной залежи (ТЗ), подстилаемой заиленными песками – 3 м, возраст – 3445±50 лет. Торфяная залежь сложена травяным и древесно-травяным торфом со степенью разложения от 25% до 55 %. Зольность варьирует от 6.63 до 17.24 %, pH солевой вытяжки изменяется в пределах 5.6-6.1 (Голубина, 2015; Голубина и др., 2019). Пункт 2 – участок, подвергшийся осушению, расположен на окраине месторождения, подстилающая порода – заиленный песок. Пункт 2 (П.2) представляет собой участок с агролесомелиорацией. Вдоль торфяного месторождения проведены борозды глубиной 0.5 м и расстоянием между бороздами 2-4 м. Торфяная залежь имеет мощность 3 м. Залежь сложена древесно-травяными и древесными торфами (Голубина, 2015).

Образцы торфов отбирались послойно через 25 см буром ТБГ-1 на всю глубину торфяной залежи до минерального грунта. Извлечение ГК проводилось с помощью следующей методики (Голубина и др., 2019): торф высушивали при комнатной температуре, измельчали. Экстракцию ГК проводили последовательно в три этапа 0,1 моль/л раствором натрия гидроксида. Экстракт отфильтровывали и обрабатывали 10% соляной кислотой до pH = 1-2 для осаждения ГК. Осадок ГК высушивали при комнатной температуре.

ИК-спектрометрия является одним из наиболее точных методов, позволяющих получить информацию о наличии каких-либо функциональных групп и типов связей. Исследование молекулярных параметров структуры ГК проводили методом инфракрасной (ИК) спектроскопии на ИК – Фурье-спектрометре ФСМ 1201 (ООО «Инфраспек», г. Санкт-Петербург). Точную навеску ГВ растирали в ступке с калий бромидом в соотношении 1 : 100 и запрессовывали в таблетку при давлении 7,5-10 т/см^2 в течение 2-5 мин под вакуумом 2-3 мм рт. ст., помещали в прибор и записывали спектр в диапазоне от 500 до 4000 см$^{-1}$ (Юдина, Тихова, 2003).

Важным диагностическим показателем структуры ГК являются спектральные коэффициенты (Зыкова и др., 2017; Юдина, Тихова, 2003; Табаскевич, 2012): Методы базовых линий и относительных оптических плотностей применяются для количественной оценки интенсивности полос поглощения и относительной концентрации функциональных групп. Чем выше ин-

тенсивность полос поглощения, тем больше содержание функциональных групп. В структуре молекулы ГК содержатся ароматические и алифатические фрагменты, кислородосодержащие функциональные группы, белковые и углеводные фрагменты. Их относительная количественная оценка дана на основании отношений оптических плотностей полос поглощения (ОППП) (Табл. 1,2). ОППП кислородсодержащих функциональных групп (υ_{OH} 3400 см$^{-1}$, $\upsilon_{C=O}$ 1720 см$^{-1}$, $\upsilon_{C-O,\ C-O-C}$ 1225 см$^{-1}$, υ_{C-O} 1035 см$^{-1}$) относится к оптическим плотностям полос поглощения, соответствующим ароматическим ($A_{C=C}$ 1610 см$^{-1}$) и алифатическим (A_{alkil} 2920 см$^{-1}$) фрагментам структуры.

Отношение ОППП в пункте 1 ароматических фрагментов к алифатическим ($A_{C=C\ 1610}/A_{alkil\ 2920}$) свидетельствует о преобладании ароматических фрагментов во всех исследуемых образцах, что может быть связано с невысокой степенью разложения (25 -50 %). Так же во всех образцах отмечается содержание карбонильных групп $A_{C=O\ 1720}/A_{C=C\ 1610,}$ сложноэфирных $A_{C-O1225}/A_{C=C1610}$ и простых эфирных групп $A_{C-O\ 1035}/A_{alkil\ 2920}$. Образец глубиной 150-175 см обладает большим содержанием карбонильных (1.07) фенольных (1.07) , сложноэфирных групп (1.05) по сравнению с другими образцами. Придонный слой глубиной 275-300 см характеризуется наименьшим значением $A_{C-O\ 1035}/A_{alkil\ 2920}$ (1.04). Для образца глубиной 200-225 см характерно наибольшее значением $A_{C=O\ 1720}/A_{C=C\ 1610}$ (1.44), $A_{C-O\ 1035}/A_{alkil\ 2920}$ (1.56), но наименьшим значением $A_{OH\ 3400}/ A_{C=C\ 1610}$ (0.88). Во всех исследуемых образцах наблюдается повышение относительных значение спектральных коэффициентов $A_{C-O-C\ 1035}/A_{C=O\ 1720}$, свидетельствующих о высоком содержании углеродных фрагментов, кроме образцов глубиной 0-25 см, 150-175 (0.98) и 275-300 см (0.96).

Во 2 пункте так же наблюдается преобладание ароматических фрагментов над алифатическими ($A_{C=C\ 1610}/A_{alkil\ 2920}$), за исключением двух образцов глубинной 0-25 см (1.04) и 25-50 см (1.23). В исследуемых образцах отмечается наибольшее содержание карбонильных $A_{C=O\ 1720}/A_{C=C\ 1610}$, сложноэфирных групп $A_{C-O\ 1225}/A_{C=C\ 1610}$ и простых эфиров $A_{C-O\ 1035}/A_{C=C\ 1610}$. Наименьшим значением $A_{C=O\ 1720}/A_{C=C\ 1610}$ и $A_{OH\ 3400}/ A_{C=C\ 1610}$ характеризуется образец, отобранный с поверхности, глубиной 0-25 см 1.07 и 0.52 соответственно. Наибольшее содержание фенольных фрагментов составляет 1.73 у образца глубиной 150-175 см. Образец глубиной 225-250 см обладает большим содержанием карбонильных (1.67) и простых эфирных групп (1.90) в сравнении с другими образцами. Отмечено наименьшее содержание сложноэфирных и углеродных фрагментов в образце глубиной 150-175 см 0.98 и 0.94 соответственно. Образцы глубиной 75-100 см и 100-125 см характеризуются наименьшем значением $A_{C-O\ 1035}/A_{C=C\ 1610}$ (1.13) и значением $A_{C-O-C\ 1035}/A_{C=O\ 1720}$ (0.96).

Было выявлено, что образцы пункта 1 и пункта 2 ГК из торфов эвтрофного болота месторождения Таган обладают высоким содержанием почти всех исследуемых функциональных групп, в частности сложноэфирных ($A_{C-O\ 1225}/A_{C=C\ 1610}$) и карбонильных групп ($A_{C=O\ 1720}/A_{C=C\ 1610}$), простых эфирных ($A_{C-O\ 1035}/A_{C=C\ 1610}$), ароматических фрагментов ($A_{C=C\ 1610}/A_{alkil\ 2920}$) и достаточно высоким содержанием фенольных гидроксилов ($A_{OH\ 3400}/ A_{C=C\ 1610}$). Однако образцы пункта 2 характеризуются большим преобладанием ароматических фрагментов к алифатическим фрагментам и большим содержанием фенольных гидроксилов, возможно, это связано с большей зрелостью ГК данного пункта. Образец глубиной 150-175 см пункта 2 характеризуется изменениями в содержании функциональных групп. Прослеживается уменьшение содержания простых и сложноэфирных групп, уменьшение содержания углеродных фрагментов и увеличение содержания фенольных гидроксилов. Вероятно, изменения в содержании связаны с агролесомелиорацией.

Таблица 1

Отношение оптических плотностей полос поглощения при определенных волновых числах по данным ИК-спектрометрии образцов ГК, месторождение Таган (Пункт 1)

Глубина см	3400/ 1610	1720/ 1610	1225/ 1610	1035/ 1610	1610/ 2920	3400/ 2920	1720/ 2920	1225/ 2920	1035/ 2920	1035/ 1720
0-25	0.90	1.10	1.20	1.07	0.82	0.74	0.90	0.98	0.88	0.98
25-50	1.04	1.18	1.07	1.36	0.70	0.73	0.83	0.75	0.95	1.15
50-75	1.03	1.15	1.09	1.29	0.72	0.74	0.83	0.79	0.94	1.13
75-100	0.88	1.25	1.17	1.13	0.67	0.58	0.83	0.78	0.89	1.07
100-125	1.04	1.26	1.11	1.37	0.69	0.72	0.87	0.77	0.95	1.09
125-150	1.06	1.33	1.17	1.50	0.60	0.63	0.80	0.70	0.90	1.13
150-175	1.07	1.07	1.05	1.05	0.82	0.88	0.88	0.86	0.86	0.98
175-200	0.84	1.42	1.21	1.79	0.53	0.44	0.75	0.64	0.94	1.26
200-225	0.88	1.44	1.19	1.56	0.57	0.50	0.82	0.68	0.89	1.09
225-250	1.07	1.19	1.07	1.44	0.64	0.69	0.76	0.69	0.93	1.22
250-275	1.00	1.13	1.13	1.52	0.62	0.62	0.70	0.70	0.95	1.35
275-300	1.04	1.08	1.13	1.04	0.65	0.68	0.70	0.73	0.68	0.96

Таблица 2

Отношение оптических плотностей полос поглощения при определенных волновых числах по данным ИК-спектрометрии образцов ГК, месторождение Таган (Пункт 2)

Глубина см	3400/ 1610	1720/ 1610	1225/ 1610	1035/ 1610	1610/ 2920	3400/ 2920	1720/ 2920	1225/ 2920	1035/ 2920	1035/ 1720
0-25	0.52	1.07	1.37	1.44	1.23	0.64	1.32	1.68	1.77	1.34
25-50	0.58	1.15	1.27	1.50	1.04	0.60	1.20	1.32	1.56	1.30
50-75	1.39	1.20	1.09	1.15	0.66	0.91	0.79	0.71	0.76	0.96
75-100	1.42	1.18	1.07	1.13	0.64	0.91	0.76	0.69	0.73	0.96
100-125	1.58	1.18	1.04	1.13	0.62	0.97	0.73	0.64	0.70	0.96
125-150	1.47	1.21	1.13	1.34	0.54	0.79	0.65	0.61	0.72	1.11
150-175	1.73	1.20	0.98	1.14	0.56	0.97	0.68	0.55	0.64	0.94
175-200	1.44	1.15	1.00	1.17	0.63	0.91	0.73	0.63	0.74	1.02
200-225	0.81	1.15	1.15	1.58	0.84	0.68	0.97	0.97	1.32	1.37
225-250	1.62	1.67	1.33	1.90	0.29	0.47	0.49	0.39	0.56	1.14
250-275	1.39	1.39	1.32	1.74	0.31	0.59	0.43	0.41	0.53	1.26

Литература

1. Табаскевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений: справочные материалы. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова: М., 2012. 55 с.
2. Голубина О.А., Цыбукова Т.Н., Тверякова Е.Н., Передерина И.А., Жолобова Г.А., Князева Е.П., Зыкова М.В. Содержание биогенных элементов (Zn, Co, Cr), щелочных (Rb, Cs), щелочно-земельных металлов (Sr, Ba) и лантана в эвтрофной торфяно-болотной экосистеме // Химия растительного сырья, 2019. №4. С. 337 – 347.
3. Зыкова М.В., Трофимова Е.С., Кривощеков С.В., Лигачёва А.А., Данилец М.Г., Логвинова Л.А., Жолобова Г.А., Прищепова О.Ф., Юсубов М.С., Белоусов М.В. Спектральные параметры и биологическая активность высокомолекулярных соединений гуминовой природы // Бюллетень сибирской медицины, 2017. Вып. 16(1). С. 36-49.
4. Юдина Н. В., Тихова В. И. Структурные особенности гуминовых кислот торфов, выделенных разными способами // Химия растительного сырья, 2003. №1.
5. Голубина О.А. Химическая характеристика углеводородного сырья торфяного месторождения «Таган» // Вестник Воронежского ГУ, серия химия, биология, фармация, 2015. № 3. С.11-18.

ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (CO_2 И CH_4) ИЗ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ И БРОШЕННЫХ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С.Ю. Моченов[1], Г.Г. Суворов[1], Д.В. Ильясов[2], Л.А. Кривенок[3], А.В. Маркина[4], М.В. Чистотин[4], Л.А. Поздняков[5], А.Д. Шангина[4], А.А. Сирин[5]

[1]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
E-mail: suvorovg@gmail.com
[2]Югорский государственный университет
[3]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
[4]Институт лесоведения РАН
[5]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения

В течение XX века на территории России осушением было нарушено порядка 8 млн га болот для таких целей как добыча торфа, сельское хозяйство (пропашные культуры, сенокосы и пастбища) и лесоразведение (Торфяные болота…, 2001, Quick Scan…, 2009). В конце XX века многие из этих земель стали заброшенными, их осушенная торфяная залежь минерализуется, подвержена пожарам. Осушенные торфяники являются источниками парниковых газов (ПГ) CO_2 и CH_4 (Ильясов и др., 2020) и являются объектами учета согласно Рамочной конвенции об изменении климата (IPCC, 2014). Исследований потоков ПГ с этих объектов в России мало, хотя за рубежом этому вопросу уделено много внимания, в рамках климатической повестки. Цель данной работы – получение оценок эмиссии CO_2 и CH_4 из осушенной торфяной почвы для нескольких категорий землепользования – сенокосы и пропашные культуры на примере объектов в Московской области.

Измерения потоков CO_2 и CH_4 были выполнены на осушенной части Дубненского болотного массива на трех объектах: действующий сенокос (доминирует мятлик *Poa pratensis* L.), брошенный сенокос – залежь (мятлик и крапива *Urtica dioica* L.), и картовый канал (Ильясов и др., 2020). Здесь измерения проводилось в августе 2018 г., в апреле, мае, июне, июле и августе 2019 г., в феврале, июне, августе и декабре 2020 г. Также в августе 2020 г. измерение потоков было выполнено на осушенной торфяной почве (опытное поле Центральной торфоболотной опытной станции), используемой под пропашные культуры (картофель *Solanum tuberosum* L.), где как сорный вид обильно произрастал горец перечный (*Persicaria hydropiper* L.).

Для измерения удельных потоков (УП) CO_2 и CH_4 использовался метод прозрачных статических камер со съемными чехлами (Hutchinson, Mosier, 1981) и газоанализатором UGGA-28p (Los Gatos Research, США). На межканавьях в прозрачных камерах измерялся нетто-экосистемный обмен CO_2 (Net ecosystem exchange — NEE). В канале измерения УП CO_2 и CH_4 проводились плавающими камерами. Расчёт потоков выполнялся при помощи базовых функций языка программирования R.

Для участка Дубненского массива была получена сезонная динамика CO_2 и CH_4 в весенне-летний период на основе 78 измерений на сенокосе и 147 на залежи (рис. 1). Летом наблюдается больший разброс значений NEE, чем весной. Эмиссия CH_4 в целом была незначительная (медианы 0.002 и -0.007 мгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$ для сенокоса и залежи соответственно). Также на рис. 1 представлены наблюдаемые значения NEE (N = 12 для обоих видов растений) на пропашном поле. На горце, в отличие от картофеля, наблюдалось поглощение CO_2 в дневное время, что обусловлено большей зелёной массой у данного вида в момент измерений.

Сезонная динамика эмиссии ПГ была получена из осушительного канала на основе 105 измерений. Потоки CO_2 в целом ожидаемо меньше, чем на картах, но ненулевые, эмиссия CH_4 – в некоторых случаях значительна (рис. 2). Эти данные подтверждают необходимость учёта каналов при оценке эмиссии ПГ из осушенных торфяников.

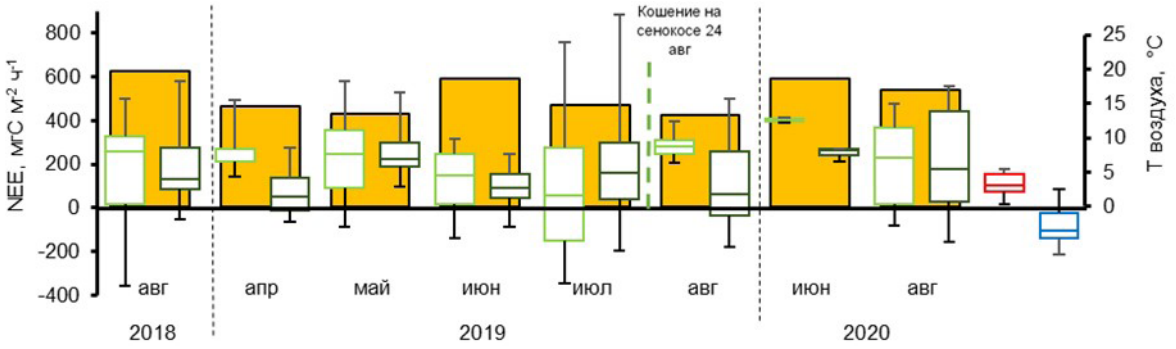


Рисунок 1. Значения NEE: светло-зелёный – сенокос, тёмно-зелёным – залежь, красный – картофель, синий – горец, оранжевый – средняя температура воздуха за время измерений (средняя линия – медиана, низ и верх «коробки» - 1 и 3 квартили, усы – минимум и максимум величины потока).

Медианы потоков CO_2 со снежного покрова в феврале и декабре 2020 г. на сенокосе составили 72 ($N_{фев}$ = 12) и 56 ($N_{дек}$ = 4) мгС м$^{-2}$ ч$^{-1}$ соответственно, на залежи – 45 ($N_{фев}$ = 10) и 54 ($N_{дек}$ = 4) мгС м$^{-2}$ ч$^{-1}$.

Полученные оценки эмиссии CO_2 и CH_4 при дальнейшем анализе могут быть использованы для национальной отчетности РКИК ООН (Рамочная конвенция ООН об изменении климата – UNFCCC) по учету источников и стоков парниковых газов.

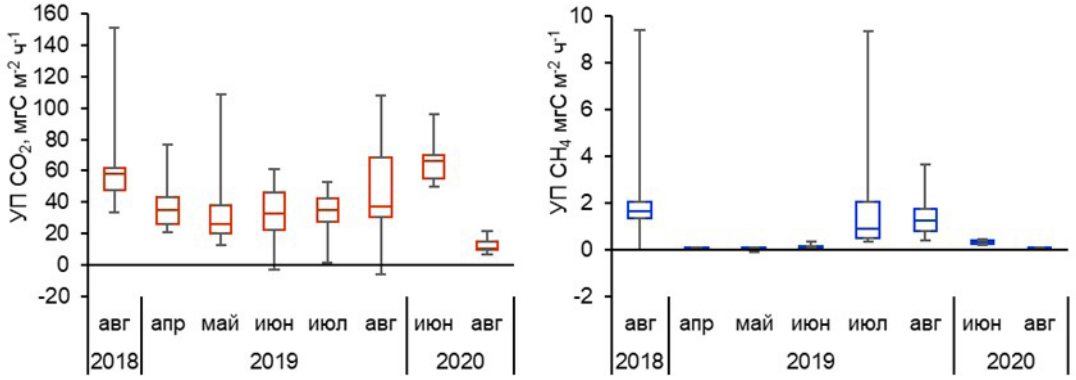


Рисунок 2. Удельные потоки CO_2 и CH_4 из осушительного канала на участке сенокоса в весенне-летние периоды 2018-2020 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках «Международной климатической инициативы» Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K «Восстановление торфяных болот»).

Литература

1. Ильясов Д. В. и др. Моделирование нетто-экосистемного обмена диоксида углерода сенокоса на осушенной торфяной почве: анализ сценариев использования // Компьютерные исследования и моделирование, 2020. Т. 12. № 6. С. 1427-1449.
2. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации // Под ред. Сирина А.А., Минаевой Т.Ю. М.: Геос, 2001. 190 с.
3. A Quick Scan of Peatlands in Central and Eastern Europe // Minayeva T., Sirin A., Bragg O. (eds.) Wageningen, The Netherlands: Wetlands International, 2009. 132 p.
4. Hutchinson G. L., Mosier A. R. Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes 1 // Soil Science Society of America Journal, 1981. V. 45. №. 2. P. 311-316.
5. IPCC: 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands / Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T. G. (Eds.). IPCC, Switzerland, 2014. P. 2.1–2.79.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕНЗОЛПОЛИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»

Паюсова И.В.[1], Груздев И.В.[2], Старцев В.В.[2], Дымов А.А.[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет
E-mail: irina.payusova2016@yandex.ru
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Пожары являются одним из ведущих факторов изменения большинства наземных экосистем планеты (Bento-Goncalves et al., 2012). Экосистемы северных широт содержат существенные запасы материалов, которые потенциально могут быть подвержены пирогенному воздействию. Они представляют собой лесную подстилку, торф, растения напочвенного покрова и древесного яруса.

Черный углерод (Black carbon - BC) или углерод пирогенного происхождения (PyC) образуется в результате неполного сгорания биомассы и ископаемого топлива. PyC обнаруживается почти повсюду, благодаря атмосферному переносу и его высокой стойкости в окружающей среде. В настоящее время PyC рассматривается как один из наиболее стабильных пулов углерода. Считается, что PyC может сохраняться в почвах достаточно длительное время - до нескольких тысяч лет. Благодаря этому, во многих современных работах он является важным пулом по секвестрированию углерода из атмосферы. Именно с ним связаны “перспективы” по сглаживанию влияния растущей концентрации углекислого газа в атмосфере (Forbes et al., 2006).

Содержание пирогенного углерода определяют различными методами, однако последние мировые оценки PyC основаны на методе определения бензолполикарбоновых кислот (БПКК) (Jones et al., 2020). При этом данные, касающиеся содержания PyC в торфяных почвах на территории Европейского Севера отсутствуют. В связи с чем, цель данной работы заключалась в оценке содержания пирогенного углерода методом определения бензолполикарбоновых кислот в торфяной почве.

Полевые исследования проводили в августе 2019 года. В качестве объекта был подобран торфяник, развивающийся под сосняком багульниково-сфагновым в окрестностях национального парка “Койгородский”. Согласно почвенно-географическому районированию, данная территория находится на границе среднетажного Луза-Сысольского округа подзолистых и болотно-подзолистых почв, и южнотаежного Летского округа дерново-подзолистых почв (Атлас почв…, 2010). Почва отнесена к торфяно-олиготрофной, представляет собой торфяную залежь с мощностью торфа 115 см, подстилаемую суглинистым минеральным горизонтом. На ряде глубин были выявлены пирогенные торфяные горизонты (Tpyr), характеризуемые наличием углистых включений различного размера, что может свидетельствовать о прохождении пожара. Наиболее четко пирогенные признаки наблюдались на глубинах 10-15 и 90-115 см.

Определение кислот проводили согласно методике (Glaser et al., 1998). Определение БППК включает в себя ряд этапов. Для удаления поливалентных металлов около 1 г почвы обрабатывали трифторуксусной кислотой (ТФА) при 105°C в течение 4 ч. После охлаждения остаток несколько раз промывали деионизированной водой и сушили в течение 3 ч. Затем остаток переносили в реакторы и сжигали в азотной кислоте при 170°C в течение 8 ч в микроволновой системе MARS-5. Далее смесь количественно переносили и фильтровали в мерные колбы объемом 25 см^3. Затем аликвоты разбавляли деионизированной водой и добавляли лимонную кислоту в качестве первого внутреннего стандарта. Раствор пропускали через катионообменную смолу. Водные образцы подвергали сублимационной сушке и повторному растворению в метаноле. В качестве второго внутреннего стандарта добавляли 2.2’-дифенилдикарбоновой кислоты в метаноле. После сушки в атмосфере азота образцы дериватизировались в течение 2 ч при 90°C с использованием BSTFA и TSIM в соотношении 49:1.

По результатам анализа, выявлено преобладание РуС именно в пирогенных горизонтах (таблица 1). Показано, что суммарное содержание БПКК изменяется от 0.7% до 18.4% от массы, что составляет 0.6% до 14.4% от общего содержания углерода в горизонтах почвы. Установлено, что при определении БПКК в основном преобладают меллитовая и бензолпентакарбоновая кислоты. Вероятно, пожары способствуют возрастанию 5-ти и 6-ти замещенных кислот.

Таблица

Содержание бензолполикарбоновых кислот (БПКК) в исследуемой почве

Горизонт	Глубина, см	Бк3*			Бк4			Бк5	Бк6	Сумма	$C_{БПКК}/C_{ОБЩ}$	РуС запасы	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			C_1-C_6	C_4-C_6
		%									%	кг/м^2	
T1	0-10	0.01	0.06	0.00	0.06	0.06	0.07	0.23	0.21	0.70	0.65	0.026	0.022
Tpyr	10-15	0.45	0.67	0.00	0.96	1.82	1.41	6.58	6.46	18.36	14.42	0.78	0.72
T2	15-30	0.01	0.10	0.00	0.09	0.10	0.11	0.67	0.57	1.65	1.36	0.21	0.19
T3	30-50	0.02	0.17	0.01	0.18	0.20	0.20	1.40	1.19	3.37	3.05	0.63	0.59
T4	50-70	0.02	0.08	0.01	0.11	0.16	0.13	0.53	0.63	1.67	1.37	0.34	0.32
T5	70-90	0.01	0.06	0.00	0.09	0.14	0.10	0.46	0.57	1.44	1.16	0.33	0.31
T6pyr	90-105	0.05	0.15	0.00	0.27	0.41	0.38	0.82	0.71	2.79	2.39	1.79	1.64
T7pyr	105-115	0.08	0.12	0.00	0.04	0.04	0.03	0.71	0.57	1.58	6.92	0.67	0.57
Сумма												4.78	4.36

Примечание: $C_{БПКК}$ – содержание углерода БПКК в горизонте. *Цифрой указано число карбоксильных групп в составе БПКК. I – гемимеллитовая; II – тримеллитовая; III – тримезиновая; IV – пиромеллитовая; V – меллофаниковая; VI – пренитовая; VII –бензолпентакарбоновая; VIII – меллитовая кислоты.

Расчет запасов РуС с учетом плотности сложения отдельных горизонтов, позволил выявить следующие значения: 4.78 кг/м^2, если рассчитывать по всем восьми БПКК, или 4.36 кг/м^2, если рассчитывать по пяти и шести замещенным кислотам. Считается, что более корректная оценка содержания пирогенного углерода основывается на содержании бензолполикарбоновой и меллитовой кислот, поскольку трех и четырех замещенные кислоты могут выделяться из растительного материала.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 19-29-05111мк и гранта академических обменов DAAD проект No. 91760908.

Литература

1. Атлас почв Республики Коми. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2010. 356 с.
2. Bento-Goncalves A., Vieira A., Ubeda X., Martin D. Fire and soils: Key concepts and recent advances // Geoderma, 2012. V. 191. P. 3-13. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004
3. Forbes M.S., Raison R.J., Skjemstad J.O. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems // Sci. Total Environ., 2006. V. 370. P. 190-206. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.06.007.
4. Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers // Organic Geochemistry, 1998. V. 29. P. 811-819.
5. Jones M.W., Coppola A.I., Santín C., Dittmar T., Jaffé R., Doerr S.H., Quine T.A. Fires prime terrestrial organic carbon for riverine export to the global oceans // Nat. Commun., 2020 V. 11. P. 2791. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16576-z.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ОСТРОВА ВАЛААМ

К.М. Перевышина

Российский государственный гидрометеорологический университет
E-mail: perevechina2505@gmail.com

Параметры биологической активности многими исследователями считаются наиболее чувствительными индикаторами загрязнения и деградации почв. Для оценки биологической активности используются, такие показатели как: биомасса и численность почвенных микроорганизмов, их продуктивность, ферментативная активность и др.

Объект исследования – почвы различного режима природопользования на о. Валаам. Были отобраны образцы из верхних гумусовоаккумулятивных почвенных горизонтов на полигоне твердых коммунальных отходов, в лесных экосистемах, на лугах, а также почвы теплиц. В работе анализировались следующие параметры: 1) эмиссия углекислого газа; 2) целлюлозоразрушающая способность; 3) активность уреазы; 4) активность каталазы; 5) pH; 6) содержание органического вещества.

Для изучения распределения значений параметров биологической активности был проведен кластерный анализ по методу Уорда. Значения параметров интенсивности почвенного дыхания, активности уреазы и целлюлозолитической способности были подразделены на 4 категории (класса). Для активности каталазы выделены 3 класса.

Полученные значения почвенного дыхания по всем участкам варьируют от 3.3 до 20.6 мг CO_2/10 г почвы. Максимальные значения интенсивности почвенного дыхания зафиксированы в торфяных лесных почвах участков с низким уровнем антропогенного воздействия. Минимальное значение данного показателя соответствует одному из участков полигона твердых коммунальных отходов.

Значения оценок целлюлозолитической активности находятся в границах от 0% (процент разложения аппликационного материала) до 70%. Для данного параметра сложно определить закономерность изменчивости. Максимумы и минимумы отмечаются, как на антропогенно нарушенных участках, так и на участках с низким уровнем нагрузки.

Активность уреазы варьирует от 0 до 21.2 мг NH3/г почвы. Наибольший показатель активности данного фермента отмечается на лугу и на одном из участков леса. Минимальная уреазная активность зафиксирована на полигоне твердых коммунальных отходов.

Каталазная активность имеет небольшую изменчивость (от 0.09 до 0.39 мл 0,1 н. KMnO4 на 1 г почвы за 20 мин). Наименьшие значения соответствуют участкам полигона.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРИБНЫХ ДИАСПОР ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УРБОЭКОСИСТЕМЫ

К. А. Плотникова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: kristiiu@mail.ru

Одним из путей биологического загрязнения может стать запыление воздушной среды приземного слоя почвы. При анализе загрязненности атмосферы в городах обязательно регистрируется присутствие пылевых частиц определенных размерных фракций: PM2.5 и PM10. Всемирной организацией здравоохранения они отнесены к основным загрязняющим веществам, поскольку в силу размера они могут проходить сквозь бóльшую часть защитных механизмов человеческого тела, накапливаться в глубоких отделах дыхательной системы и со временем вызывать различные заболевания, поэтому являются наиболее опасными для здоровья человека.

Микобиота как составляющая органического вещества в пыли может иметь влияние на формирование грибных сообществ в других компонентах экосистем. Грибные диаспоры, оседающие из атмосферы воздуха на поверхность почв, могут выступать причиной изменения состава доминирующих видов и биоморфологической структуры почвенной микобиоты, накопления потенциально опасных для человека и флоры видов (Марфенина, 2002). Негативные аспекты воздействия грибов и их метаболитов проявляются в возможности вызывать микозы, микотоксикозы и грибные аллергии у человека и животных, а также патогенез растений.

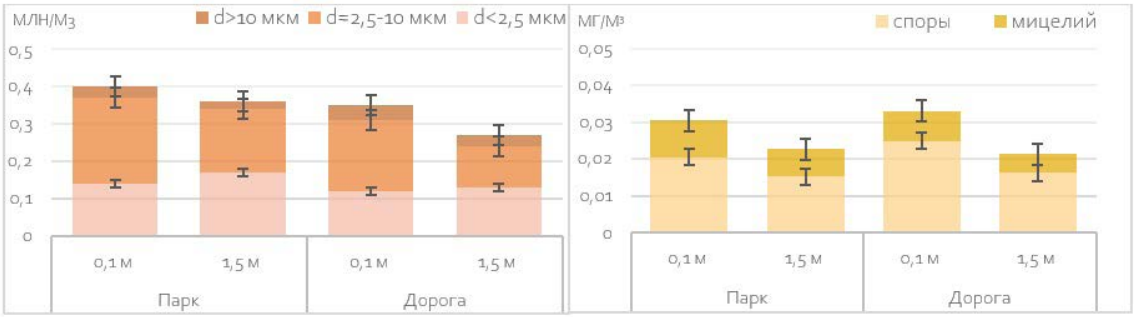
Определение содержания и состава грибного аэропланктона в воздухе является важным аспектом экологической, фитопатологической и санитарно-гигиенической оценки состояния воздуха в урбоэкосистемах (Марфенина, 2015). Целью работы являлась оценка уровней присутствия (объема и состава) микобиоты в твердых атмосферных выпадениях разных функциональных зон (придорожной и парковой) урбоэкосистемы на примере Москвы.

Грибные аэрозоли отбирали аспиратором ПУ-1Б на высотах 0.1 м и 1.5 м, а также методом седиментации при экспонировании контейнеров на поверхность почвы в течение 3 суток. Одновременно учитывали метеорологические параметры. Выделение культивируемых грибов осуществляли методом посева на среду Чапека. Идентификацию видовой принадлежности проводили по культурально-морфологическим и молекулярным признакам. Анализ общей численности и биомассы с учетом размерных характеристик грибных пропагул выполняли методом прямой люминесцентной микроскопии при окрашивании калькофлюором белым и при светооптической микроскопии.

В составе воздушных аэрозолей доминировали виды родов *Alternaria, Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Phoma, Trichoderma, которые* относятся к потенциально патогенным и/или аллергенным видам согласно СП 1.3.2322-08 от 28.01.2008 г. Споры этих грибов входят в размерные фракции пылевых частиц PM2.5 и PM10, внесенных в международных контроль ИЗА (EN 12341:2014).

По результатам исследования численность грибных спор оказалась выше в парковой зоне, чем в придорожной, достигая максимальной отметки в 0.4 млн.спор/м^3. Высокая численность микроскопических грибов в воздухе парковой территории может определяться наличием многих факторов, благоприятствующих росту микроскопических грибов в лесу, например, экссудатов на поверхности коры и листьев деревьев, разлагающихся растительных остатков и др. (Pepeljnak et al., 2003).

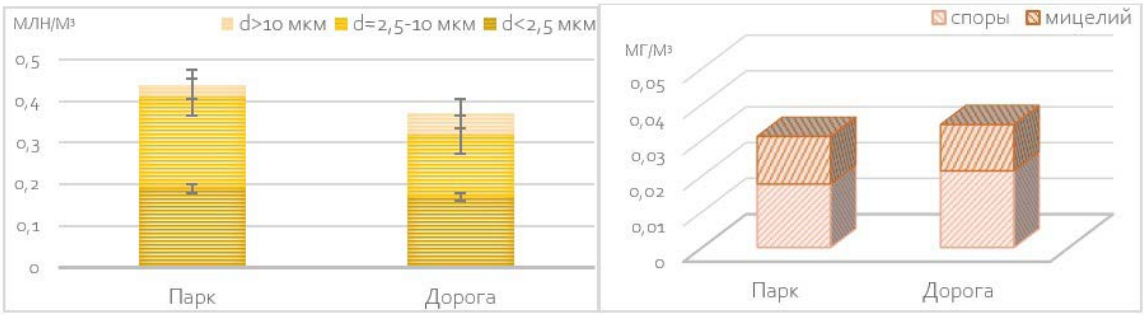
Однако наибольшая биомасса спор выявлена у дороги на высоте 0.1 м – за счет увеличения обилия спор крупных размеров (PM10). В составе микоаэрозолей преобладали споры, однако обнаруживали и единичные фрагменты мицелия, количественно преобладающие в парке на высоте 0.1 м. Суммарная грибная биомасса составила $\geq$ 0.03 мг/м^3 в надпочвенном слое и примерно в 1.5 раза меньше на уровне дыхания человека (рис.1).



А Б

Рис. 1. Содержание грибных аэрозолей г. Москва по данным прямой люминесцентной микроскопии (А – численность спор, Б – суммарная грибная биомасса)

Анализ грибных пылевыпадений методом седиментации также выявил существенно бóльшие объемы грибных структур, поступающих на поверхность почвы из воздуха, в парковой зоне. На придорожной территории биомасса оседающих спор и мицелия оказались почти в 1.5 раза больше (рис.2).



А Б

Рис. 2. Доля грибных диаспор в приземном слое воздуха г. Москва, полученных методом седиментации (А – численность спор, Б – суммарная грибная биомасса)

Сравнение полученных результатов о содержании грибных частиц в воздухе с данными учета пылевых частиц PM 2.5 и 10, представленными на сайте Мосэкомониторинга (mosecom.mos.ru/mgu/, дата обращения 02.03.2022 г.) позволяет сделать заключение: доля грибных частиц в составе пылевых фракций составляет 58% в парковой зоне, в придорожной — несколько больше, 64%, что не противоречит литературным сведениям о значительных объемах грибной пыли в воздухе (Jaenicke, 2005).

Полученные данные следует учитывать при оценке опасности запыления городских территорий разного функционального назначения для здоровья городского населения как возбудителя микозов и аллергий, а также распространения эпифитотий, вызванных заболеваниями растений.

Литература

1. Марфенина О.Е., Колосова Е.Д. Грибы приземных слоев воздуха: их Экологическая роль и перспективы исследований. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова., 2015. С. 151-153.
2. Марфенина О.Е., Кулько А.Б., Иванова А.Е., Согонов М.В. Микроскопические грибы во внешней среде города // Микология и фитопатология, 2002. Т. 36. Вып. 4. С. 22–32.
3. Jaenicke R. Abundance of cellular material and proteins in the Atmosphere // Science, 2005. Vol.308. №5718. P. 73.
4. Pepeljnak S., Segvic M. Occurrence of fungi in air and on plants in vegetation of different climatic regions in Croatia // Aerobiologia, 2003. Vol.19. P. 11-19.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ МАЛОНАРУШЕННЫХ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

А.М. Портнов[1], В.Н. Шанин[1], Н.В. Иванова[2], М.П. Шашков[2]

[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН»
E-mail: alekseyportnow@gmail.com
[2]Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Цель данного исследования – на основе материалов аэрофотосъемки провести количественную оценку динамики образования разрывов в пологе малонарушенного полидоминантного широколиственного леса. Изучение оконной динамики является ключевым вопросом для понимания процессов естественного лесовозобновления (Ross et al., 2022; Feldman et al., 2018; Smirnova et al., 2018), без которого невозможен переход к устойчивому лесопользованию.

Исследование проводили на постоянной пробной площади в заповеднике «Калужские засеки», заложенной на участке старовозрастного полидоминантного широколиственного леса в 1986–88 гг. под руководством проф. О.В. Смирновой. Размер пробной площади составляет 8.8 га (200×440 м). Для анализа использовали серию фотограмметрических моделей высот и ортофотопланов, построенных по данным разносезонных аэрофотосъемок, проводившихся с использованием квадрокоптеров серии DJI Phantom 4 в период с 2018 по 2021 гг. Определение формы и размеров ветровальных окон по данным аэрофотосъѐмки осуществляли в несколько шагов. Сначала на основе материалов аэрофотосъемки строили цифровую модель поверхности – DEM (Digital elevation model) с разрешением 30 см на пиксель. Далее нормировали высоты точек: из высоты каждой точки вычитали минимальную высоту, таким образом, высоты переводили из системы отсчѐта, связанной с уровнем моря, в локальную. Далее для оценки пороговых значений для выделения окон в пологе леса строили гистограммы распределения высот пикселей на DEM (рисунок)

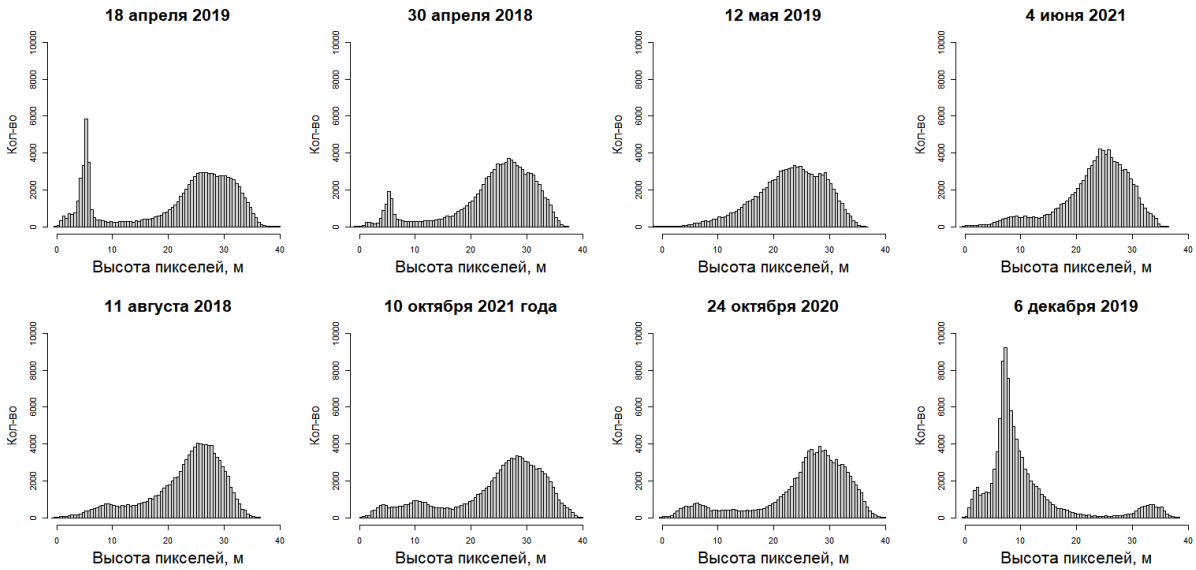


Рисунок. Гистограммы распределения высот пикселей фотограмметрической модели полога в разные сезоны съемки. Ось x – значения высот пикселей, ось y – число пикселей.

На основании наблюдаемых на гистограммах распределений мы выделили три класса окон по высоте подроста: 0-10, 10-15 и 15-20 метров (Портнов и др., 2021).

В результате классификации цифровых моделей высот, полученных по данным разносезонной аэрофотосъемки, оценены площади окон, относящихся к разным классам. Обнаружено значительное варьирование как общей площади разрывов в пологе, так и суммарных площадей окон отдельных классов. На основе сопоставления с гистограммами (рисунок) мы заключили, что высокая вариация оцененных площадей связана, прежде всего, с наличием и стадией развития листвы (фенологической фазой). Основываясь на этом, показано, что оптимальным временем для детектирования окон является период с поздней весны до конца лета. В этот период листва наиболее густая и полог максимально сомкнут, в связи с чем, снижается вероятность ошибочной идентификации межкроновых пространств как окон.

В результате сопоставления данных съемок от 11 августа 2018 г. и 4 июня 2021 г. выявили, что на исследованной территории за 3 года в пологе леса образовалось 25 новых окон. Сопоставление с результатами детектирования по модели высот показало, что новые окна относились к разным высотным классам. Полученный результат демонстрирует, что только часть окон формирует новые разрывы в пологе, а другая часть образуется по краям уже существующих окон.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 18-14- 00362-П

Литература

1. Ross C. W. et al. LiDAR Voxel-Size Optimization for Canopy Gap Estimation // Remote Sensing, 2022. V. 14. №. 5. P. 1054.
2. Feldmann E. et al. Canopy gap dynamics and tree understory release in a virgin beech forest, Slovakian Carpathians // Forest Ecology and Management, 2018. V. 415. P. 38-46.
3. European Russian forests: Their current state and features of their history / Smirnova O. V., Bobrovsky M. V., Khanina L. G. (eds.). Springer, 2018. V. 15.
4. Портнов А.М. и др. Количественная оценка размеров окон в пологе старовозрастного широколиственного леса наземными и дистанционными методами // Материалы Седьмой Национальной научной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии». Пущино, 2021. С. 99-102.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗНЫХ СПОСОБОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА НА ОСНОВЕ МЕТАБАРКОДИНГА ПОЧВ

Расова Е.Е., Белых Е.С., Мелехина Е.Н., Велегжанинов И.О., Тарабукин Д.В., Зиновьева А.Н.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: elrasova@mail.ru

Загрязнение почв нефтепродуктами представляет большую угрозу для экосистем крайнего севера, в связи с чем поиск методов эффективной рекультивации загрязненных территорий является актуальной задачей современности (Davoodi et al., 2020; Varjani et al., 2017). Целью настоящего исследования была оценка степени очистки почвы от нефтепродуктов и восстановления разнообразия и структуры сообществ почвенных бактерий и грибов на участках с различными условиями рекультивации.

Исследование проводилось в 2019 г. на Верхневозейском нефтяном месторождении (Усинский район, Республика Коми). Описание методов ремедиации каждого из шести экспериментальных участков подробно приведено в (Novakovsky et al., 2021). Для метабаркодинга с каждого участка отбирали образцы почвы (всего 39 шт.) и выделяли тотальную ДНК с помощью набора DNeasy PowerSoil Kit (Quagen, США). Амплификация участков генов 16S рРНК и ITS и секвенирование библиотеки ампликонов на секвенаторе MiSeq (Illumina, США) проводились в ЦКП «Геномика» СО РАН (Новосибирск, Россия). Определение нефтепродуктов в почве проводилось в лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel и R (R Core Team) с применением теста Манна-Уитни. Множественные сравнения проводились с использованием поправки False Discovery Rate.

В результате проведенного анализа было получено 1385659 прочтений фрагмента гена 16S рРНК и 2023453 прочтений ITS. На основании полученных прочтений был проведен анализ общих и уникальных таксономических единиц, а также оценка обилия представителей различных отделов бактериальных и грибных сообществ экспериментальных участков (данные не представлены). Значения индекса разнообразия Шеннона свидетельствуют о том, что среди загрязненных участков наиболее выраженное снижение биоразнообразия по сравнению с фоновым участком отмечалось на участке 1, наиболее приближенным к фоновому по значению разнообразия оказался участок 4 (рис. 1).

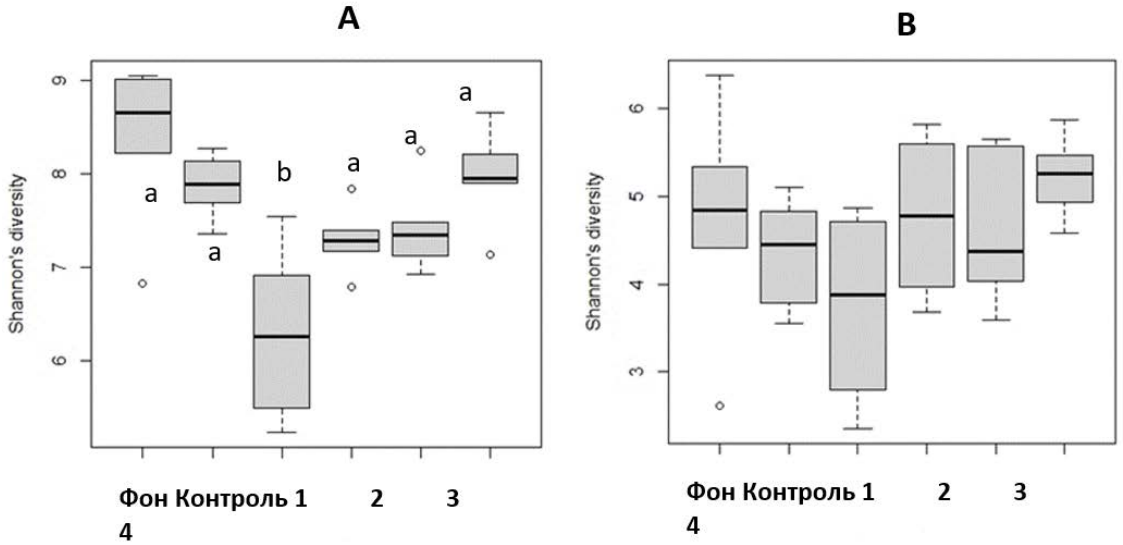


Рисунок 1 – Индексы биоразнообразия Шеннона бактерий (A) и грибов (B) на исследуемых участках.

Результаты ординации состава бактериальных сообществ, основанной на дистанции Брея-Кёртиса, свидетельствуют о том, что образцы фоновой территории выделяются в отдельный кластер, практически не пересекающийся с образцами нефтезагрязненных участков (Рис. 2, А). В то же время, в сообществе грибов помимо фонового, обособление имеет также контрольный участок, а образцы рекультивированных территорий занимают промежуточное положение в пространстве координат (Рис. 2, В).

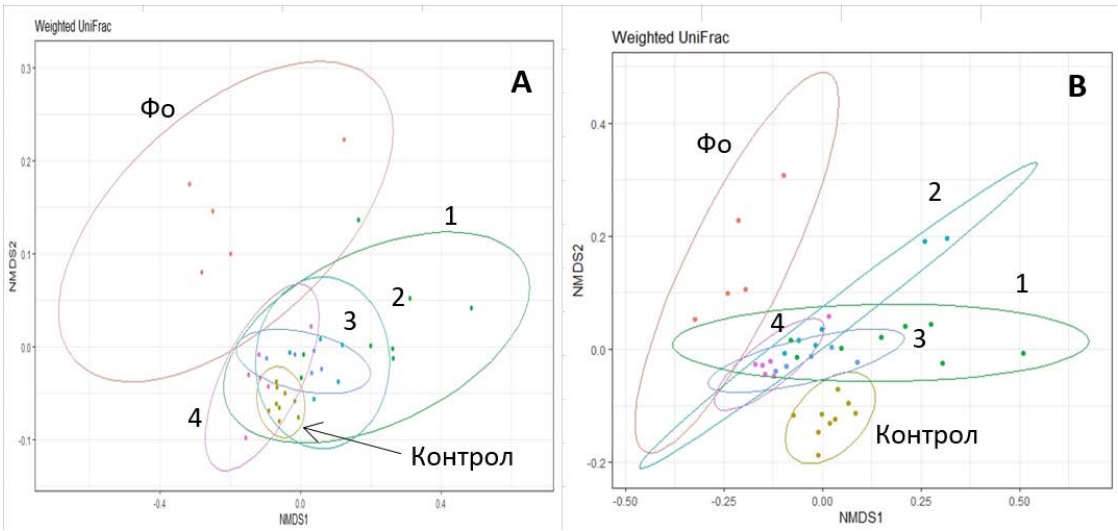


Рисунок 2 – Ординация неметрического многомерного шкалирования (NMDS) состава бактериальных (А) и грибных (В) сообществ исследуемых участков на основе дистанции Брея-Кёртиса.

Таким образом, структура бактериальных сообществ загрязненных нефтью участков, независимо от способа рекультивации, имела сходные черты. В то же время, в структуре грибных сообществ имелись различия между контрольным участком и участками, прошедшими рекультивацию. Фоновая территория занимала обособленное положение по разнообразию и соотношению видов как бактерий, так и грибов.

Участок 2, где вносились препараты «Universal», BAG и лигниновые сорбенты, характеризовался самой высокой скоростью разложения нефти. Однако по разнообразию бактерий и грибов данный участок не имел особых отличий от других загрязненных территорий. На участке 4, где применялся биопрепарат «Roder», интенсивность нефтедеструкции была значительно ниже, чем на участке 2, но в то же время было отмечено самое высокое биоразнообразие бактерий и грибов среди всех загрязненных территорий. По структуре бактериального сообщества участок 4 имел наибольшее сходство с фоновой территорией. Участок 1, на котором применяли препарат «Universal» без использования других биопрепаратов, имел самое низкое биоразнообразие бактерий и грибов. Можно предположить, что наиболее эффективными методами биоремедиации для данной территории являются комплексные препараты на основе компоста и биологически-активных гранул, каковыми в нашем исследовании являлись препараты BAG и лигниновые сорбенты.

В заключение стоит отметить, что выбор эффективного метода ремедиации почвы способствует ускоренному разложению нефти и заселению почвы бактериями и грибами, однако не приводит к возврату почвенного микробиома в первоначальное состояние.

Литература

1. Davoodi S.M., Miri S., Taheran M., Brar S.K., Galvez-Cloutier R., Martel R. Bioremediation of unconventional oil contaminated ecosystems under natural and assisted conditions: a review // Environ Sci Technol., 2020. V. 54(4). P. 2054–2067. DOI: 10.1021/acs.est.9b00906.
2. Novakovskiy A.B., Kanev V.A., Markarova M.Y. Long-term Dynamics of Plant Communities after Biological Remediation of Oil-Contaminated Soils in Far north // Sci. Rep., 2021. V. 11 (1). P. 4888. DOI: 10.1038/s41598-021-84226-5.

3. Varjani S.J., Gnansounou E., Pandey A. Comprehensive review on toxicity of persistent organic pollutants from petroleum refinery waste and their degradation by microorganisms // Chemosphere, 2017.V. 188. P. 280–291. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.005.

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ПРОХОДОВ ФОРВАРДЕРА НА ГЛУБИНУ КОЛЕИ И ПЛОТНОСТЬ ПОЧВ

Д.А. Севергина[1], В.В. Старцев[1], И.Н. Кутявин[1], Н.М. Горбач[1, 2], А.А. Дымов[1]

[1]ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: severgina.darja@gmail.com
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

С 2006 года на Европейском Севере России активно начали использовать лесозаготовительную технику на колёсном ходу, представленную парами харвестер-форвардер. На данный момент около 95 % всей древесины заготавливается «скандинавской» технологией, что привело в дальнейшем к вытеснению хлыстовой лесозаготовки (Путеводитель …, 2015). На вырубках наблюдается достаточно много механических нарушений, оставляемых колёсной лесозаготовительной техникой. В основном они располагаются на волоках, занимающих от 15 до 30 % площади лесосек. Цель данной работы состояла в оценке изменения физических свойств подзолистых почв при разной интенсивности воздействия колесной лесозаготовительной техники в ельнике чернично-зеленомошном.

Для оценки изменений почв был организован полевой эксперимент, в рамках которого был подобран участков ельника чернично-зеленомошного, развивающегося на подзолистых почвах. В период полевого сезона 2020 года были исследованы исходные почвы. Далее, в декабре 2020 года на исследуемом участке была проведена рубка. В качестве экспериментальной машины использовали четырехосный форвардер. К моменту рубки в исследуемом биогеоценозе не было снежного покрова, и неделю перед экспериментом стояла отрицательная температура. При данных условиях почвы промерзли до глубины около 15 см, тем самым обеспечить их высокую несущую способность. На момент проведения эксперимента температура воздуха составляла минус 3.2 °С, температура подстилки минус 0.5 °С. Диагностика трансформируемых почв проводилась при помощи «Классификации и диагностика почв России (2004) и «Полевого определителя почв» (2008) с рекомендациями по оценке свойств турбированных почв (Дымов, 2017; Дымов, 2020). Для определения глубины колеи волоков провели 162 замера для почв с тремя проходами форвардера и 392 замера для почв с десятью проходами форвардера. Определения плотности сложения верхних генетических горизонтов проводили по Вадюниной, Корчагиной (1986). В каждом почвенном профиле отбирали образцы из каждого генетического горизонта в пятикратной повторности.

Для оценки влияния числа проходов лесозаготовительной техники на почвы было заложено 9 волоков протяженностью около 50 метров: три волока с тремя проходами форвардера, три волока с десятью проходами (3П) и три волока с десятью проходами (10П) с последующим выравниванием (выравнивание колей, смещение подстилки, пней, порубочных остатков) (10Р). Также было заложено 3 почвенных разреза на участках волоков с различным количеством проходов форвардера.

На всех изменённых почвах наблюдается отсутствие напочвенного покрова, и значительное поступление на поверхность почвенного профиля множества ветвей и хвои. Волок с тремя проходами был определён нами как подзолистая почва, так как горизонты почвенного профиля не были перемешаны между собой и были близки горизонтам фоновой почвы. Верхние минеральные горизонты переуплотнены. В почвенных профилях волоков с десятью проходами формируется генетический горизонт TUR, характеризующийся перемешиванием органогенных и верхних минеральных горизонтов. Данные типы почв были охарактеризованы как турбозёмы: волок с десятью проходами форвардера – турбозём дентритный, волок с десятью проходами форвардера и последующей рекультивацией – турбозём. Для турбозёма на рекультивируемом (выравненном) участке характерен микрорельеф с западинами, в которых в летний период длительное время стоит вода. В нижних горизонтах всех почв визуально отмечается переуплотнение.

После рубки были произведены замеры колей. Максимальное проминание почвы наблюдается на волоках с 10 проходами форвардера и составляет 60 см. На волоках с тремя подходами максимальная глубина колей равняется 41 см. В среднем же на турбозёмах колёсная техника проминает почву сильнее примерно в два раза.

Плотность сложения верхних генетических горизонтов исследуемых почв значительно больше, чем в исходной почве (рисунок), за исключением турбозёма дентритного. Его верхние почвенные горизонты более плотные из-за разрыхления почвы колёсами лесозаготовительной техники. В нижних горизонтах почв исследуемых волоков наблюдается небольшое переуплотнение. Однако, в турбозёме рекультивуемого участка плотность сложения меньше, что связано с разравниванием колей участка экскаватором.

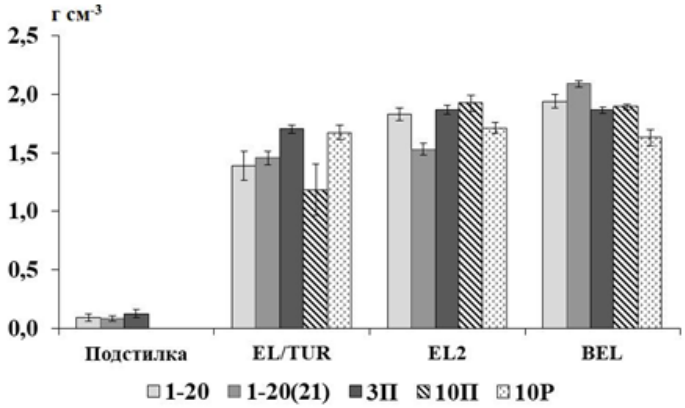


Рисунок. Плотность сложения генетических горизонтов исследованных почв. Обозначения: 1-20 – исходная подзолистая почва; 3П – подзолистая почва, 10П - турбозём дентритный, 10Р – турбозём.

Таким образом, по полученным данным можно сказать, что морфологически почвы опорных разрезов после рубки значительно отличаются от исходных фоновых почв. В них наблюдается частичное или полное уничтожение верхних горизонтов и формирование новых генетических горизонтов, помимо общего переуплотнения почв. Глубины колей на волоках закономерно зависят от количества проходов тяжелой колесной техники. Глубина колей волоков с десятью проходами в 2-3 раза превышает глубину на волоках с тремя проходами. В общем, плотность сложения генетических горизонтов турбированных почв закономерно больше типичной подзолистой почвы.

Литература

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор литературы) // Почвоведение, 2017. № 7. С. 787-798.
3. Дымов А.А. Почвенные сукцессии в бореальных лесах Республики Коми. М: ГЕОС, 2020. 336 с.
4. Классификация и диагностика почв России /Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
6. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Современные изменения лесных почв средней тайги. Сыктывкар, 2015. 36 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА НИКОНОВСКОЕ (ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ)

Семенов Д.А.[1], Воякина Е.Ю.[2], Дмитричева Л.Е.[1]

[1]Российский Государственный Гидрометеорологический Университет (РГГМУ)
E-mail: no.compassion@yandex.ru
[2]Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН (СПб ФИЦ – НИЦЭБ РАН)

Валаамский архипелаг расположен в северо-западной части Ладожского озера на территории Республики Карелия. В его состав входит более 50 островов, наиболее крупный из которых – о. Валаам (S = 2845 га). Валаамский архипелаг является уникальной территорией, он расположен на стыке южной и средней подзон таежной зоны, а большая его часть входит в состав ООПТ – природный парк «Валаамский архипелаг».

Одна из особенностей Валаамского архипелага – наличие 11 внутренних озер (10 из них – малые лесные озера), относящихся к различным гидрохимическим типам (7 типов). В целом для озер Валаама характерно повышенное содержание органического вещества, минеральных форм фосфора, железа, а также высокая минерализация (Степанова и др., 2010).

К одним из самых малых по площади озер Валаамского архипелага относится Никоновское озеро (S = 0.011 км^2), средняя его глубина составляет 2.5 м, а максимальная – 4.0 м. Особенность данного озера заключается в том, что, несмотря на небольшую площадь водной поверхности, оно обладает сравнительно крупным по площади водосбором (S = 0.2 км^2). При этом значимую часть водосборной площади занимают сельскохозяйственные поля.

В 2007 г. на полях, расположенных в непосредственной близости к Никоновскому озеру, были проведены мелиоративные работы. Общая площадь проведения мелиоративных работ составила около 15 %. Вследствие выполнения данных мероприятий, направленных на осушение полей, в озеро началось активное поступление минеральных взвесей (Экосистемы Валаамского архипелага, 2016).

Благодаря тому, что мониторинговые исследования на Валааме ведутся, начиная с 1990-х годов, была предпринята попытка проанализировать многолетние ряды значений определенных параметров, для того чтобы понять, насколько сильно мелиоративные работы повлияли на ситуацию в озере. В качестве наиболее показательных были взяты такие параметры как прозрачность, цветность и мутность. Наиболее длинные ряды значений были представлены по прозрачности в Никоновском озере. Было отмечено существенное уменьшение прозрачности в озере после проведения мелиорации на полях. Среднемноголетние значения прозрачности до 2006 г. составляли около 0.8 м, а максимальное значение – 1.2 м (2000 год). В 2007 году среднее значение прозрачности снизилось до 0.48 м, также были отмечены минимальные значения в 2009 и 2010 годах – 0.33 м. При этом, начиная с 2011 года, отмечается тенденция к увеличению значений прозрачности в озере (Семенов, Воякина, 2021).

Основываясь на полученных данных, летом 2021 г. были проведены исследования различных почвенных участков водосбора Никоновского озера, для того чтобы понять, насколько сильно они отличаются между собой и какие участки могут в большей степени влиять на гидрохимические показатели в озере. В частности, было важно определить химические показатели сельскохозяйственных полей, учитывая то, что на них регулярно применяются удобрения (азофоска и аммиачная селитра).

Было выделено шесть почвенных участков, находящихся в непосредственной близости к Никоновскому озеру: четыре участка в лесной зоне и два участка на поле. Все участки были проанализированы на такие параметры как pH, содержание гумуса, фосфатов (P_2O_5) и аммонийного азота ($NH4^+$). Среднее содержание гумуса на данных участках варьировало от 1.84

до 2.12 %. При этом среднее содержание гумуса в лесных почвах составило от 2.92 до 26.19 %. Среднее содержание P_2O_5 на участках полей изменялось от 2.50 до 3.46 мг/100 г почвы, при этом среднее содержание фосфатов в почвах лесных участков колебалось от 3.82 до 21.92 мг/100 г почвы. Так же на полях были отмечены минимальные значения по содержанию аммонийного азота. Так, содержание N-NH4 на данных участках находилось в диапазоне от 0.69 до 0.85 мг/100 г почвы. На лесных же участках средние значения N-NH4 варьировали от 1.17 до 9.29 мг/100 г почвы. Участки, расположенные на полях, имеют более высокие значения pH относительно почв лесных участков. Средние значения $pH_{(H2O)}$ в почвах полей изменялись от 5.34 до 5.56, в то время как на лесных участках – от 4.25 до 4.96.

Также был проведен кластерный анализ (метод Уорда). Как и предполагалось, в ходе классификации было выделено два класса: в первый класс вошли участки, расположенные на полях, во второй класс – все лесные участки. Для того, чтобы оценить, являются ли различия между двумя классами значительными, был рассчитан критерий Стьюдента (t*) и его критическое значение ($t_{кр}$) при уровне значимости α=0.05: t* = 0.47; $t_{кр}$ = 2.05. В данном случае выяснилось, что разбиение на классы необъективно и статистически различий между лесными участками и участками на поле нет.

В заключение следует отметить, что лесные участки водосборной площади Никоновского озера наиболее богаты по содержанию органического вещества, фосфатов и аммонийного азота относительно участков полей. Вероятно, это связано с характером растительности, а также различными условиями почвообразования на исследуемых участках. Несмотря на то, что на полях используются удобрения, можно предположить, что данные участки могут в меньшей степени влиять на озеро, по сравнению с лесными участками. Однако для подтверждения этого необходимо проведение более масштабных исследований.

Литература

1. Семенов Д.А., Воякина Е.Ю. Динамика изменений некоторых лимнологических параметров озера Никоновское (Валаамский архипелаг)//Изучение водных и наземных экосистем: история и современность. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2021. С. 317-318.
2. Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф., Воякина Е.Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам//Ученые записки Российского Государственного Гидрометеорологического Университета № 12. СПб: РГГМУ, 2010. С. 97-109.
3. Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. Степановой А.Б. СПб: РГГМУ, 2016. 44 с.

СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДА УХТА

Е.А. Скребенков, Е.Ю. Кряжева

Ухтинский государственный технический университет
E-mail: evgeniigskrebenkov@mail.ru

Экосистема урбанизированных территорий подвержена мощному воздействию техногенного фактора. В результате происходит накопление поллютантов в различных ее компонентах. Почва является одним из основных концентраторов загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы, которые при избыточном содержании проявляют свои токсические свойства, поскольку являются генетическими ядами, способными накапливаться и проявлять отдаленные эффекты воздействия на живые организмы. Свинец входит в группу приоритетных тяжелых металлов, отнесенных к первому классу опасности. Основными источниками его поступления в почвы городов являются промышленные производства (предприятия цветной металлургии, теплоэнергетика, нефтеперерабатывающая промышленность), отходы свинцовых аккумуляторов и автотранспорт, работающий на этилированном бензине.

Цель данной работы заключалась в оценке содержания свинца в почвах города Ухта.

Для реализации поставленной цели летом 2017 и 2018 годов методом конверта из верхних горизонтов были отобраны почвенные образцы в точках, соответствующих разным функциональным зонам города – транспортной, промышленной, рекреационной и селитебной – всего 44 точки. Почвы анализировали в соответствии с общепринятыми методами в экоаналитической лаборатории Института биологии *ФИЦ* Коми НЦ УрО РАН. Определяли валовое содержание и содержание подвижных форм свинца, а также углерода органических соединений и кислотность почв (pH_{KC}). Полученные данные сравнили с нормативами ОДК и ПДК (СанПиН 1.2.3685–21), кларком содержания в верхней части континентальной земной коры (Касимов, Власов, 2015), кларком, установленным для городских почв (Алексеенко, 2013), а также с фоновыми региональными показателями (для городских аналогов природных почв в отдельных точках из числа исследованных) (Приказ…, 2009).

Ухта – второй по численности населения город Республики Коми (92 479 человек), основу экономики которого формируют предприятия нефтяного и газового сектора, а также машиностроения и стройиндустрии. Почвы города Ухта маломощные, сформированы на насыпных грунтах преимущественно из песка и торфа, подстилаемых щебнисто-гравийным материалом. В рекреационной зоне фрагментарно сохранились естественные почвы, представленные преимущественно подзолами и пойменными почвами.

Как показали проведенные исследования, искусственные почвоподобные образования Ухты характеризуются преимущественно нейтральной реакцией почвенных растворов и высокой вариабельностью в содержании углерода органических соединений (от 0.45 до 14.16 %), обусловленной внесением разного количества торфа. Городским аналогам природных почв свойственны более низкие значения pH_{KC} (до 5 единиц) и, в целом, невысокое содержание углерода органического, за исключением лесных подстилок (до 24 %).

Самые высокие концентрации свинца, как по валовому содержанию, так и по содержанию подвижных форм, характерны для промышленной зоны, а самые низкие – для транспортной (газоны), что связано с разной интенсивностью техногенного воздействия и спецификой самих почв (в газоны транспортной зоны регулярно подсыпаются новые порции грунта с целью ухода за ними) (Рисунок). По степени вариации полученных значений наибольший разброс концентраций характерен для почв промышленной и селитебной зон (коэффициент вариации более 100 %), что обусловлено, по-видимому, существованием локальных источников загрязнения.

Превышения санитарно-гигиенических норматив (СанПиН 1.2.3685–21) по валовому содержанию отмечены в почвах промышленной (в трех точках – от 1.6 до 3.3 ОДК, в среднем

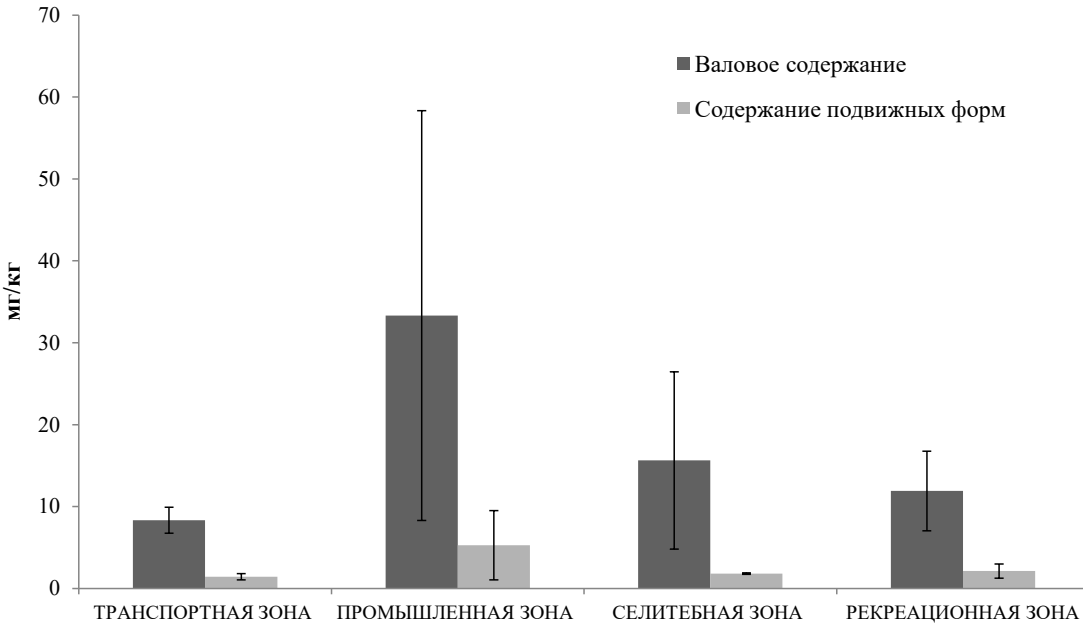


Рисунок. Содержание свинца в почвах разных функциональных зон города Ухта. Планками погрешности показаны границы доверительного интервала для p=0.95

для зоны – 1.04 ОДК) и селитебной (в одной точке – 2.8 ОДК) зон, по содержанию подвижных форм – только в промышленной (в трех точках – от 1.16 до 3.3 ПДК) функциональной зоне.

Среднее значение концентраций свинца в почвах промышленной зоны почти в 2 раза превышает его кларк (Касимов, Власов, 2015) в верхней части континентальной земной коры (всего в пяти точках – от 1.2 до 6.4 раз), в других зонах превышения имеются только для значений по отдельным точкам – в двух точках селитебной зоны (в 1.3 и 5.3 раз) и в двух точках рекреационной (в 1.03 и 1.1 раз).

По сравнению с другими городами с численностью населения менее 100 тысяч человек (Алексеенко, 2013) почвы Ухты характеризуются более низким содержанием свинца. Превышения кларка, установленного для городских почв, отмечены всего для четырех точек (от 1.4 до 2.7 раз), три из которых соответствуют промышленной функциональной зоне.

Для оценки вклада антропогенного фактора в общий уровень загрязнения почв города свинцом городские аналоги природных почв (2 точки рекреационной зоны – подзол и пойменная почва) по валовому содержанию сравнили с фоновой концентрацией, установленной для основных типов почв Ухтинского и Сосногорского районов (Приказ…, 2009). Выявлены превышения фоновых показателей для подзолов и пойменных почв в 3.75 и 2.37 раза соответственно, что свидетельствует о существовании антропогенных источников свинца на территории Ухты или об изменении почвенных параметров, способствующем его накоплению в почвах рекреационной зоны.

Следует также отметить, что наибольшая степень подвижности свинца (доля подвижных форм от валового содержания) в почвах города отмечена для образцов, отобранных в промышленной и рекреационной зонах (более 20 %), что, скорее всего, обусловлено более низким значением показателя pH_{KC} для почв рекреационной зоны и меньшим содержанием углерода органических соединений для почв промышленной, а также, очевидно, возможным поступлением свинца в более мобильной форме.

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить следующее. Почвы города Ухта характеризуются относительно невысоким (Алексеенко, 2013) и неравномерным уровнем загрязнения свинцом. Полученные значения сильно варьируют и достигают максимальных отметок в почвах промышленной зоны, что свидетельствует, учитывая их низкую буферную способность и относительно высокую степень подвижности свинца в них, о существовании антропогенных источников загрязнения.

Литература

1. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд–во ЮФУ, 2013. 380 с.
2. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2015. № 2. С. 7–17.
3. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25.11.2009 г. № 529 «Об установлении нормативов фонового содержания химических элементов и углеводородов в почвах Республики Коми».
4. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПОТОКОВ CO_2 И N_2O НА ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА РГАУ-МСХА ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА

М.Т. Спыну, М.В. Тихонова, Е.Б. Таллер, А.В. Степанов

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева
E-mail: spuny.marina@gmail.com

В связи с ростом и индустриализацией городов естественные и городские территории испытывают нагрузку, которая влияет на почвенно-экологические характеристики. Вследствие антропогенного преобразования почвенного покрова происходит изменение экосистемных сервисов, выполняемых почвой: эмиссия парниковых газов, изменения типа растительности, формирование микроклимата, нарушение водного режима, а также снижения почвенного плодородия и в целом изменения функций почв. Нарушенный почвенный покров в условиях города является дополнительным источником эмиссии парниковых газов, почвенный мониторинг которых позволяет не только оценивать вклад таких почв в выбросы парниковых газов в атмосферу, но и прогнозирование сценариев по сохранению объема выгод экосистемных сервисов почв.

Объектом проведения исследования является западное поле на территории экологического стационара РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, где в июле 2018 года была произведена посадка 346 саженцев Ивы пурпурной (*Salix purpurea*) (Спыну и др., 2021)

На объекте исследований имеется зона подтопления (рис.1), в центре поля находится небольшая западина и сток воды направлен к краю поля через центр. В восточном направлении западное поле граничит с дренажной траншеей. Весной 2019 года была осуществлена засыпка траншеи минеральной частью слоем 50 см, следующий слой – торф 50 см, что позволило отрегулировать режим поверхностного стока на западном поле. Исследование почвенной эмиссии потоков углекислого газа и оксида азота I, проводилось методом отбора проб воздуха из экспозиционных камер, которые были установлены на вкопанные основания. Образцы воздуха отбирались в виалы, а затем анализировались в лаборатории на газовом хроматографе. Для измерения температуры воздуха и почвы использовался почвенный термометр, измерение влажности почвы проводилось термостатно-весовым методом в лаборатории (Тихонова, Ермаков, 2020; Тихонова,2015).

Измерения потоков углекислого газа и закиси азота проводилось по сезонам с апреля по октябрь 2019-2021 годов. Проведенные измерения потоков N_2O продемонстрировали значительную сезонную динамику и пространственную неоднородность.

Максимальные значения эмиссии потоков N_2O в 2019 г. наблюдались в апреле – 0.245 мг/м^2 в день (период снеготаяния), ранней осенью (сентябрь) – 0,242, а также в июле – 0.238 мг/м^2

Рисунок 1. Область подтопления в 2019 г.

в день (рис.2). Для этих периодов характерные высокие показатели уровня влажности верхних почвенных горизонтов, максимальное значение составляет – 33.89%. Пиковые значения зафиксированы в точках 6, и 11 и 12 для которых характерно подтопление на исследуемом участке.

Максимальное значение эмиссии углекислого газа наблюдается в июне 2019 и составляет 8.814 г/м^2 в день (рис.3). Этот период характеризуется самым высоким за весь период исследований уровнем температур верхних почвенных горизонтов, максимальное значение составляет – 24.1 °С. Максимальные значения эмиссии CO_2 в апреле, июле, августе и октябре наблюдаются в точках 13-16.

Рисунок 2. Потоки N_2O в сентябре-октябре 2019г.

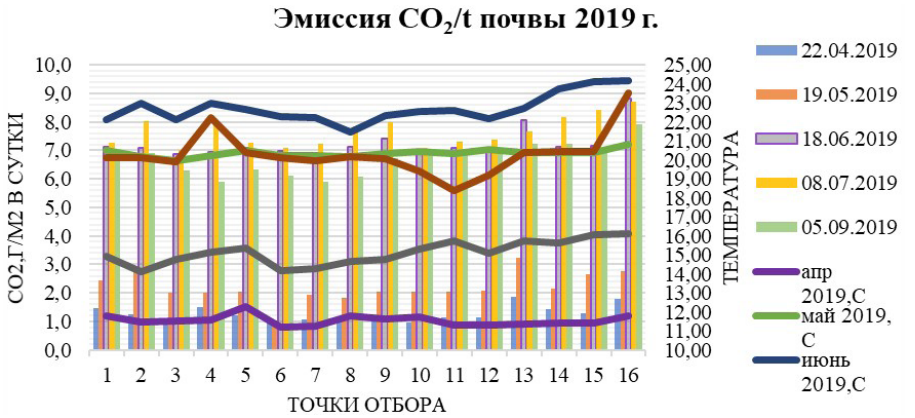


Рисунок 3. Потоки CO_2 в июне - июле 2019г.

Литература

1. Спыну М.Т., Илюшкова Е.М., Жигалева Я.С., Тихонова М.В. Функционально-экологическая оценка пространственно-временной изменчивости эмиссии потоков парниковых газов на территории экологического стационара РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки: материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых (17–19 ноября 2021 г.). Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. С. 296-299.
2. Тихонова М.В., Ермаков С.Ю. Временное варьирование потоков парниковых газов на антропогенно измененной почве с посадками ивы пурпурной Salix purpurea // Доклады ТСХА (03–05 декабря 2019 г.). Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. С. 474-479.
3. Тихонова М.В. Экологическая оценка пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии N_2O и CO_2 из дерново-подзолистых почв представительной лесной экосистемы Московского мегаполиса: на примере ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: дис.Тихоновой М.В. к.н.б. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, 2015.

РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»

А.В. Уляшев[1], Ю.В. Холопов[2], С.В. Денева[2], О.В. Шахтарова[2], Е.М. Лаптева[2], Р.В. Семяшкин[1]

[1] Ухтинский государственный технический университет
[2] Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: arkad160122014@mail.ru

Основополагающими компонентами природных ландшафтов и наземных экосистем являются почвы и почвенный покров. Их свойства обеспечивают стабильность развития и устойчивое функционирование как растительных сообществ, так и почвообитающей биоты – различных микроорганизмов и беспозвоночных (Роль…, 2011). Следовательно, сохранение в ненарушенном состоянии природного разнообразия почв – залог сохранения биоразнообразия растительных сообществ и представителей животного. Это возможно в рамках имеющейся системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Цель работы – исследование разнообразия почв восточной части национального парка «Койгородский».

Национальный парк «Койгородский» (НП) в системе ООПТ Республики Коми (РК) – одни из наиболее молодых резерватов. Он создан в 2019 г. с целью сохранения уникальных малонарушенных лесных сообществ южной подзоны Европейской тайги. Располагается НП в юго-восточной части РК, на территории двух районов – МО МР «Прилузский» и МО МР «Койгородский». Учитывая слабую изученность почвенного покрова и растительных сообществ на данной территории, в 2021 г. начато изучение почв и почвенного покрова НП. В июне и августе 2021 г. были осуществлены полевые выезды в окрестности туристических стоянок «Федоровка» и «Матвей-шор» (северо-восточная часть НП) и туристической стоянки «Грань» (юго-восточная часть НП). Почвы и почвенный покров территории НП исследовали общепринятым в почвоведении маршрутным методом. В каждом типе леса закладывали опорные почвенные разрезы, проводили их морфологическое описание с отбором образцов почв из генетических горизонтов для физико-химических исследований. В ходе исследования двух участков НП (северо-восточного и юго-восточного) было заложено и описано 11 опорных разрезов и порядка 10 почвенных прикопок. Индексация генетических горизонтов и названия почв даны в соответствии с принципами современной классификации почв России (Классификация…, 2004; Полевой…, 2008)

Известно, что почвенный покров южных районов РК исследовали во второй половине XX века в рамках подготовки листов Государственной почвенной карты СССР М 1:1 000 000. В соответствии с опубликованным листом Государственной почвенной карты СССР Р-39 «Сыктывкар» (Государственная…, 1958), на территории НП на суглинистых почвообразующих породах под ельниками зеленомошными типичными выделены *подзолистые почвы*. На участках водораздельных пространств с застойным увлажнением под пологом темнохвойных лесов – *болотно-подзолистые* почвы, включающие два основных подтипа: *торфянисто-подзолисто-глееватые* и *торфяно-подзолисто-глеевые* почвы. Под пологом еловых и осиновых лесов травяного типа представлены *дерново-подзолистые* почвы, в долинах рек – *аллювиальные дерновые* и *аллювиальные дерново-глеевые* почвы. Следует отметить, что на территории НП целенаправленные почвенные исследования не проводились, за исключением единичных работ, выполненных в последние годы (Дымов, 2020; Дымов и др., 2021).

Анализ полученных нами полевых описаний морфологического строения почвенных разрезов, заложенных в период проведения исследований, и опубликованных данных позволил выявить на данный момент как минимум 9 типов и 16 подтипов почв, относящихся к 4 отделам и 3 стволам, в соответствии с современной классификацией почв России. Список почв представлен в таблице.

Основные типы и подтипы почв, представленные на территории двух обследованных ключевых участков в пределах национального парка «Койгородский»

№ п/п	Тип	Подтип
СТВОЛ ПОСТЛИТОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ		
Отдел: Текстурно-дифференцированные почвы		
I.	Подзолистые	Подзолистая типичная
		Подзолистая грубогумусовая
		Подзолистая грубогумусовая поверхностно-турбированная
		Подзолистая грубогумусовая потечно-гумусовая глееватая
II.	Подзолисто-глеевые	Подзолисто-глеевая грубогумусовая
		Подзолисто-глеевая грубогумусовая потечно-гумусовая
		Подзолисто-глеевая грубогумусовая потечно-гумусовая со вторым гумусовым горизонтом
III.	Торфяно-подзолисто-глеевые	Торфяно-подзолисто-глеевая потечно-гумусовая
		Торфяно-подзолисто-глеевая перегнойно-торфяная потечно-гумусовая
IV.	Дерново-подзолистые	Дерново-подзолистая потечно-гумусовая
		Дерново-подзолистая грубогумусовая
Отдел:Органо-аккумулятивные почвы		
V.	Серогумусовые	Серогумусовая грубогумусовая глееватая
СТВОЛ СИНЛИТОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ		
Отдел: Аллювиальные почвы		
VI.	Аллювиальные гумусовые	Аллювиальная гумусовая элювиированная
VII.	Аллювиальные гумусовые глеевые	Аллювиальная гумусовая глеевая на низинном торфянике
VIII.	Аллювиальные перегнойно-глеевые	Аллювиальная перегнойно-глеевая иловато-перегнойная
СТВОЛ ОРГАНОГЕННОГО ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ		
Отдел: Торфяные почвы		
IX.	Торфяные	Торфяная олиготрофная

Полученные результаты значительно расширяют представления о разнообразии почв национального парка «Койгородский» и могут служить основой для организации дальнейших исследований и последующего мониторинга охраняемых экосистем. Установлено, что на территории водораздельных ландшафтов в пределах рассмотренных ключевых участков как в северо-восточной, так и в юго-восточной части НП «Койгородский» преимущественно распространены подзолистые типичные почвы, характерные для подзоны средней тайги, и подзолистые грубогумусовые почвы. Дерново-подзолистые почвы – типичные представители южной тайги – встречаются редко, они занимают незначительные по площади ареалы.

Литература

1. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / Г.В. Добровольский, И.Ю. Чернов (отв. ред.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
2. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Полевой определитель почв. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
4. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: Издательство ГЕОС, 2020. 336 с.
5. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Паюсова И.В., Габов Д.Н., Доннерхак О. Сравнение методов определения соединений углерода пирогенно измененных органических соединений // Почвоведение, 2021. №11. С. 1332–1345.
6. Государственная почвенная карта СССР (М 1:1000000). Лист Р-39 (Сыктывкар) / Сост. И.В. Забоева, Н.Я. Коротаев. М.: Изд-во АН СССР, 1958 г.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАТРИЕВО-ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПЕРМСКОГО КРАЯ МЕТОДОМ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ

С.В. Федотов, Е.Е. Малышкина, Н.В. Митракова

Естественнонаучный институт ПГНИУ
E-mail:lionofcintra@yandex.ru

Процесс засоления является одним из факторов вызывающих деградацию почв РФ наравне с водной и ветровой эрозией, переувлажнением, подтоплением, заболачиванием. По состоянию на 2020 год в России площадь засолённых земель составляет 235.86 тысяч гектаров (1.8%) (О состоянии… 2021). Распространение процессов засоления происходит вследствие избытка солей, который обусловлен природными, а также антропогенными факторами такими как, нарушение объема или режима полива, повышенная минерализация орошаемых вод, техногенное засоление химическими веществами, образование техногенных хвостохранилищ и шламохранилищ (Khayrulina et al. 2021).

Избыток солей в почве оказывает негативное влияние на физиологические процессы растений, вызывает осмотический стресс, нарушает ионный гомеостаз, замедляет синтез и ускоряет распад белков, вызывает накопление токсических веществ, увеличивает проницаемость мембран. Неблагоприятные факторы среды, в том числе засоление, вызывают развитие окислительного стресса у растений. В ответ на повышение содержания в клетках свободных радикалов и активных форм кислорода (АФК) активируется система антиоксидантной защиты. Высокие показатели редокс-активности могут свидетельствовать о развитии защитно-приспособительных реакций в клетке для адаптации к стрессу, который не обнаруживается при исследовании морфометрических показателей (Прадедова, Нимаева, Саляев 2017).

Цель исследования – изучение экологической устойчивости зональной дерново-подзолистой почвы Пермского края к загрязнению хлоридом натрия методом фитотестирования.

Почва отобрана в подзоне южной тайги на опушке темнохвойного леса с березовым подростом. Среди травянистых видов отмечены земляника зеленая (*Fragaria viridis* Weston), клевер средний (*Trifolium medium* L.), дудник лесной (*Angelica sylvestris* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* Scop.).

В корнеобитаемом слое (0-15 см) были определены водная и солевая pH потенциометрическим методом и содержание органического вещества согласно ГОСТ 26213-91. Актуальная кислотность в исследуемой почве составила 5.0, обменная кислотность – 3.7, содержание органического вещества – 5.47%. Фитотестирование проводили согласно патенту на изобретение № 2620555 (Еремченко, Митракова, 2016). В качестве тест-контроля выступали растения, выращенные на вермикулите с раствором Кнопа, а также на незасоленной почве. Редокс-активность растений измеряли по методу Петта в модификации Прокашева.

Для исследования реакции растений на различную степень засоления почвы были обработаны водными растворами хлорида натрия из расчета концентраций солей на 100 г почвы. Исследованные концентрации NaCl: 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, 1.5%, 2%. На почвенных пробах выращивали кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) и овес посевной (*Avena sativa* L.).

Замер морфометрических показателей кресс-салата проводили на 8 день после посадки, овса – 10 день. Высоту и массу определяли в выборке объемом 20 растений. В зеленой массе в трехкратной повторности определили редокс-активность растительных экстрактов (Еремченко, Митракова, 2016). Данные по высоте и массе растений подвергали статистическому анализу, результаты определений редокс-активности – методом дисперсионного анализа. Наличие достоверных различий с тест-контролем определяли с помощью критерия Стьюдента, параметрическими и непараметрическими тестами (при 95%-ном уровне вероятности).

Эксперимент по оценке засоления зональных дерново-подзолистых почв хлоридом натрия на тест-культурах (кресс салат и овёс посевной) показал, что при засолении почв в концентрациях от 0.5% отсутствуют всходы растений; при концентрации 0.3% растения кресс салата показали снижение высоты и массы относительно контроля на вермикулите на 62% и 55% соответственно, относительно контроля на почве на 30% и 24% соответственно.

При натриево-хлоридном засолении почвы в концентрациях 0.3% отмечено снижение высоты и массы овса посевного относительно контроля на вермикулите на 50% и 62% соответственно. Согласно критериям, описанным в патенте по оценке экологического состояния (Еремченко Митракова, 2016) снижение высоты и массы более чем на 50% считают экологически опасным.

Показатели редокс-активности образцов на засолённых почвах у обеих тест-культур превышали эти показатели у контрольных образцов на вермикулите: у кресс-салата на 25% (NaCl 0.1%), у овса посевного в 2 и 2.8 раз (NaCl 0.1% и 0.3% соответственно), что свидетельствует о токсичности данных доз хлорида натрия для растений. Согласно критериям, описанным в патенте по оценке экологического состояния (Еремченко Митракова, 2016) повышение показателя редокс-активности более чем на 30% свидетельствует о неудовлетворительном состоянии почвы, а более чем на 50% считают экологически опасным.

Таким образом, природные свойства дерново-подзолистой почвы, обеспечивают её экологическую устойчивость к концентрациям 0.1-0.3% хлоридно-натриевого засоления, но повышение показателей редокс-активности тест-культур на этих концентрациях свидетельствует о токсическом действии засолённой почвы на растения.

Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки РФ № 2019-0858.

Литература

1. Еремченко О.З., Митракова Н.В. Способ оценки биологической активности и токсичности почв и техногенных почвогрунтов. Патент РФ № 2620555. 2016.
2. Ковда В.А. Солончаки и солонцы. М., Л.: АН ССР, 1937. 245 с
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2021. 864.с
4. Прадедова Е. В., Нимаева О. Д., Саляев Р. К. Редокс-процессы в биологических системах // Физиология растений, 2017. Т. 64. №. 6. С. 433-445
5. Khayrulina E., Novoselova L., Mitrakova N., Bogush A. Properties of alluvial soils of taiga forest under anthropogenic salinization // Forests, 2021. V. 12. № 3.

БИОРЕМЕДИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МАЗУТОМ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

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

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
E-mail: cerdakova@yandex.ru

Растущие объемы производства и использования нефтепродуктов в различных отраслях хозяйственной деятельности человека являются одними из основных характеристик современного этапа развития общества, что приводит к загрязнению нефтяными углеводородами всех компонентов окружающей среды, в том числе и почв. При этом наибольшую опасность представляет загрязнение тяжелыми фракциями нефтепродуктов, среди которых одними из наиболее распространенных являются мазуты. Ввиду своих физико-химических свойств мазуты оказывают резко негативное влияние на все свойства почвы, а процессы их естественной деструкции протекают крайне медленно. Данным обстоятельством обусловлена необходимость поиска эффективных и безопасных технологий очистки почв, загрязненных мазутом. Для этих целей в настоящее время применяются 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 почвы.

В целом, среди способов ремедиации нефтезагрязненных почв наиболее 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; Beškoski et al., 2019). Но в случае загрязнения почвы мазутом процесс биодеструкции осложняется и замедляется. Основная сложность обусловлена химической спецификой тяжелых фракций нефтяных углеводородов и их устойчивостью к биодеструкции, а также формированием при загрязнении почвы мазутом крайне неблагоприятных условий для работы ремедиаторов (нарушение воздушного и водного режимов и др.). В этой связи возникает необходимость научного поиска способов стимуляции деятельности нефтеокисляющей микрофлоры при биоремедиации загрязненных мазутом почв. По нашему мнению, в данном аспекте весьма перспективны гуминовые вещества и препараты на их основе. Поскольку, во-первых, гуминовые вещества обладают выраженными поверхностно-активными свойствами, то есть способны увеличивать площадь активного взаимодействия ремедиаторов с питательным субстратом. Во-вторых, они могут выступать источником элементов минерального питания микроорганизмов. И, наконец, гуминовые вещества положительно влияют на все физико-химические свойства очищаемых почв, создавая «благоприятные» условия для работы микроорганизмов (Гальченко и др., 2015; Гречищева, 2016; Степанов и др., 2018).

Целью наших исследований являлась экспериментальная оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации почв, загрязненных мазутом.

Объектом исследования служили промышленные гуминовые препараты, полученные из различного сырья и по различным технологиям, характеристики которых представлены в таблице 1.

Основой исследования выступали вегетационные эксперименты, суть которых заключалась в искусственном моделировании процессов биоремедиации загрязненных мазутом почв при совместном использовании микробиодеструкторов и гуминовых препаратов. В эксперименте использовались образцы серой лесной почвы, отобранные в экологически чистом районе, с участка не подверженного прямому техногенному воздействию, с глубины гумусового горизонта по общепринятой методике в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-2017. Моделирование загрязнения осуществлялось путем внесения в серую лесную почву мазута в количестве 50 г/кг и 100 г/кг. В качестве источника нефтеокисляющей микрофлоры применя-

Таблица 1

Основные характеристики экспериментальных гуминовых препаратов*

Показатель	Название препарата	
	«Экорост»	«Гуми»
Агрегатное состояние	жидкое (раствор)	твердое (порошок для приготовления суспензии)
Сырье	торф	бурый уголь
Технология получения	гидродинамическая кавитация	щелочная экстракция
pH, ед. pH	7.0	8.5
Гуминовые и фульвокилоты, г/л	70.0	60.0
Азот общий, г/л	2.8	5.0
Фосфор общий, г/л	0.01	5.0
Калий общий, г/л	5.8	10.0

*По данным производителя

ли микробиодеструктор «Дестройл», представляющий собой культуру штамма *Acinetobacter species JN*-2 – неспоровые, неподвижные, грамотрицательные бактерии, обладающие высокой способностью к биодеструкции нефтяных углеводородов. Биопрепарат «Дестройл» применяли на всех вариантах опыта в виде суспензии, приготовленной согласно инструкции производителя. Далее в экспериментальные почвенные образцы вносились гуминовые препараты в виде 0.01 % водного раствора. Контролем служили загрязненные мазутом и обработанные микробиопрепаратом почвенные образцы без внесения гуминовых препаратов. Повторность в эксперименте – четырехкратная. Схема эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2

Схема эксперимента

1	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ50
2	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + «Дестройл» (контроль)	КМ100
3	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0.01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ50
4	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0.01 % р-р «Экорост» + «Дестройл»	ЭМ100
5	Серая лесная почва + мазут 50 г/кг + 0.01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ50
6	Серая лесная почва + мазут 100 г/кг + 0.01 % р-р «Гуми» + «Дестройл»	ГМ100

Экспозиция экспериментальных образцов осуществлялась в течение четырех месяцев. Критерий оценки – изменение концентрации мазута в почве, которая определялась методом ИК-спектрометрии.

Полученные результаты позволили установить, что интенсивность процессов биодеструкции мазута в почве при совместном внесении гуминовых и микробиологических препаратов во многом определяется свойствами вносимых гуминовых препаратов. Выявлено, что процессы биодеструкции мазута в загрязненной почве наиболее активно протекали под влиянием препарата «Гуми» (рисунок).

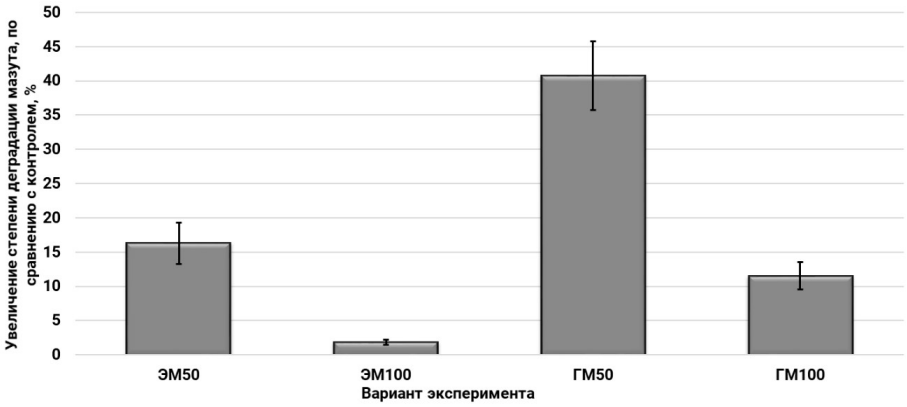


Рисунок – Среднее увеличение степени деградации мазута на экспериментальных вариантах по сравнению с контролем, %

Стимулирующее действие данного препарата по отношению к микроорганизмам-нефтедеструкторам отчетливо проявлялось для обоих вариантов смоделированных в эксперименте уровней загрязнения. Однако при концентрации загрязнителя 50 г/кг стимулирующий эффект был значительно выше. На данных вариантах опыта под воздействием препарата «Гуми» интенсивность процессов биоутилизации мазута возросла по сравнению с контролем почти на 40 %, тогда как при уровне загрязнения 100 г/кг всего на 11 %.

Стимулирующее действие препарата «Экорост» на нефтеокисляющую микрофлору отчетливо проявилось лишь на вариантах с загрязнением почвы мазутом в концентрации 50 г/кг.

Более выраженное стимулирование биодеструкции мазута под влиянием «Гуми» по сравнению с «Экоростом» вероятно связано со следующими причинами. Во-первых, данное обстоятельство обусловлено молекулярной структурой гуминовых веществ в составе препаратов. Гуминовые препараты, получаемые из угля, имеют наиболее высокую ароматичность по сравнению с препаратами, выделенными из других сырьевых источников. Ввиду высокой ароматичности, такие препараты характеризуются и высоким сродством к ароматическим компонентам нефтепродуктов, что подтверждается последними исследованиями в данной области (Гречищева, 2016). Обладая высоким сродством к ароматическим компонентам нефтепродуктов такие гуминовые вещества, проявляя свойства поверхностно-активных веществ, способствуют их интенсивной диспергации и солюбилизации, повышая доступность для нефтеокисляющей микрофлоры. Именно высокоароматичные компоненты составляют основу тяжелых нефтепродуктов, в том числе и мазута. Таким образом, препарат «Гуми», полученный из угля, по причине значительной ароматичности, и, следовательно, высокого сродства к углеводородам мазута оказывает более выраженный стимулирующий эффект на процессы его биоутилизации по сравнению с «Экоростом».

Во-вторых, препарат «Гуми» по сравнению с «Экоростом» содержит большее количество минеральных элементов (азота, фосфора и калия). Тяжелые фракции нефтепродуктов труднодоступны для биохимического окисления микроорганизмами-нефтедеструкторами и для их эффективной «работы» в таких условиях требуются дополнительные источники минерального питания. По этой причине, при внесении «Гуми» в почву, микробиоремедиаторы получая большую «подкормку», по сравнению с «Экоростом», интенсивнее осуществляют трансформацию мазута.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты указывают на перспективность совместного использования нефтеокисляющей микрофлоры и гуминовых препаратов в целях биоремедиации загрязненных мазутом почв. Гуминовые препараты из бурого угля более эффективны по сравнению с препаратами на основе торфа. Их применение позволяет стимулировать процессы биодеструкции мазута на 10-40 % процентов, в зависимости от уровня загрязнения.

Литература

1. Гальченко С.В., Спиридович Д.В., Чердакова А.С. Результаты экспериментальной оценки влияния гуминовых препаратов на процессы диспергирования нефтепродуктов // Научное обозрение, 2015. № 1. С. 126-130.
2. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб (дата введения 2019-01-01). М.: Стандартинформ, 2019. 5 с.
3. Гречищева Н.Ю. Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред : дис. ... д-ра хим. наук: 03.02.08. Москва, 2016. 326 с.
4. Степанов А.А., Госсе Д.Д., Панина М.А. Применение гуминового препарата «Питер-Пит» для детоксикации и рекультивации нефтезагрязненной почвы // Проблемы агрохимии и экологии, 2018. № 1. С. 55-57
5. Brown L.D., Gee K.F., Cologgi D.L., Ulrich A.C. Bioremediation of Oil Spills on Land / In book: Oil Spill Science and Technology. New York: Wiley, 2017. P.699-729.

6. Beškoski V. P., Milic J., Dojgic-Cvijovic G. G., Ilic M. Bioremediation of soil polluted with crude oil and its derivatives: Microorganisms, degradation, pathways, technologies. // Hemijska industrija, 2019. No. 74 (4). P. 455-460.

4 СЕКЦИЯ

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ЯГОД БАРБАРИСА ОБЫКНОВЕННОГО (*BERBERIS VULGARIS* L.) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.А. Голубев, М.В. Шапошников, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: denismeatboy@gmail.com

Старение – патологический процесс, постепенно приводящий к общему функциональному ухудшению организма (Piper and Partridge, 2018), которое может привести к развитию различных заболеваний, связанных со старением, включая сердечно-сосудистые заболевания, рак, нейродегенеративные заболевания и диабет 2 типа (Carruba, Cocciadiferro et al., 2016).

Антоцианы – природные соединения, содержащиеся в изобилии пищевых источниках: во фруктах, овощах, а также плодах ягод. Проведено множество исследований, показывающих эффективность антоцианов в улучшении общего состояния здоровья организма (Tena, Martín et al., 2020). Предотвращение сердечно-сосудистых заболевании, рака, диабета и многих других заболеваний все это эффекты, напрямую связанные антиоксидантной способностью данных соединений. Плоды ягод барбариса обыкновенного (*Berberis vulgaris* L.) являются отличным источником антоцианов. Данная ягода широко распространена на территории России.

Целью данной работы было оценить влияние экстракта барбариса обыкновенного (ВЕ) на продолжительность жизни (ПЖ) и устойчивость к параквату *Drosophila melanogaster*.

Сбор материала проводился в осенний период (август-сентябрь 2021 г.) на территории Республики Коми на базе УНУ «Научной коллекции живых растений» Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, регистрационный № 507428. Эксперименты проводили на особях *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, которые содержались в климатических камерах при постоянных условиях (25 °C и 12-часовом режиме освещения). На каждый вариант эксперимента отбирали 120–150 особей. Самки и самцы жили раздельно по 30 особей в пробирке. Полученные этанольные антоциановые ягодные экстракты доводили 96%-ным этанолом до концентраций 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 50 мг/мл. Экстракты в исследуемых концентрациях наносились на поверхность питательной кукурузной среды в объеме 30 мкл. В качестве контроля на среду наносили 30 мкл 96%-ного этанола.

Перед анализом стрессоустойчивости мух содержали на среде с добавлением экстракта в концентрациях 0.1 и 5 мг/мл в течение 10 сут. Для оценки стрессоустойчивости мух содержали на среде, состоящей из 2%-ного агара и 5%-ной сахарозы и 20 ммоль/л параквата (метилвиологендихлорид гидрат, Sigma-Aldrich, США). Все эксперименты проводились в двух-трех проворностях.

Полученные результаты показали (табл. 1), что ВЕ увеличивал медианную ПЖ самок *D. melanogaster* в концентрациях 0.01, 0.1, 1 и 5 мг/мл на 5-6 % ($p < 0.01$), а также увеличивал максимальную ПЖ самок *D. melanogaster* в концентрациях 0.1, 1 и 5 мг/мл на 1-3 % ($p < 0.01$). Однако ВЕ не оказал влияния ни на медианную, ни на максимальную ПЖ самцов *D. melanogaster*. Лишь концентрация 50 мг/мл уменьшила максимальную ПЖ самцов на 5 % ($p <0.01$).

Добавление ВЕ в питательную среду увеличивало (табл. 2) устойчивость самок дрозофил к воздействию прооксиданта параквата в концентрации 0.1 мг/мл. Медианная выживаемость самок, получавших экстракт в концентрации 0.1 мг/мл, увеличилась на 38 % ($p <0.01$), в то вре-

Таблица 1

Влияние экстракта барбариса на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster*

Вариант	Пол	M(сут)	dM(%)	Фишер	90% (сут)	d(90%) %	B-A	N
Контроль	♀	64			74			625
0.01 мг/мл	♀	67	5	0.003	75	1	0.12	361
0.1 мг/мл	♀	68	6	0.001	76	3	0	397
1 мг/мл	♀	67	5	0	76	3	0.001	353
2.5 мг/мл	♀	64	0	0.398	74	0	0.243	381
5 мг/мл	♀	67	5	0.0002	75	1	0.001	361
50 мг/мл	♀	63	-2	0.054	70	-5	0	231
Контроль	♂	57			67			636
0.01 мг/мл	♂	57	0	0.65	68	2	0.508	415
0.1 мг/мл	♂	57	0	0.75	68	2	0.6	387
1 мг/мл	♂	58	2	0.3	67	0	0.960	410
2.5 мг/мл	♂	58	2	0.08	67	0	0.666	413
5 мг/мл	♂	56	-2	0.3	67	0	0.177	414
50 мг/мл	♂	55	-4	0.15	64	-5	0.008	222

Примечание: M – медианная продолжительность жизни (сут).; возраст 90 % смертности (сут); dM и d90 %, – различия между медианной продолжительностью жизни и возрастом 90% смертности у контрольных и экспериментальных мух, соответственно (%). При сравнении времени 90%-ной гибели особей использовали критерий Ванг-Аллисона, для медианной продолжительности жизни – критерий Фишера

Таблица 2

Влияние экстракта барбариса на ЦЗГ на устойчивость к окислительному стрессу, индуцированному паракватом

Вариант	Пол	25%	50%	75%	90%
Контроль	♀	44	58	74	90
Барбарис 0.1 мг/мл	♀	66 **	80 **	92 **	93 **
Барбарис 5 мг/мл	♀	38	55	74	90
Контроль	♂	51	60	69	80
Барбарис 0.1 мг/мл	♂	52	62	70	85
Барбарис 5 мг/мл	♂	54	65	73	80

** $p<0.01$ по точному критерию Фишера; 25%, 50%, 75%, 90% – соответствующий перцентиль.

мя как максимальная выживаемость увеличилась на 3 % ($p <0.01$). Однако ВЕ в концентрации 5 мг/мл не оказал влияния на устойчивость самок. В тоже время ВЕ в концентрации 5 мг/мл не оказал влияния на устойчивость самцов дрозофил к воздействию прооксиданта параквата.

В результате проведенных исследований было выявлено, что при добавлении ВЕ в питательную среду дрозофил в концентрациях 0.1, 1 и 5 мг/мл выявлен положительный эффект на ПЖ особей *D. melanogaster.* Также было показано, что экстракт барбариса в концентрации 0.1 мг/мл увеличивал устойчивость самок дрозофил к действию прооксиданта параквата. Результаты показывают, что экстракт барбариса обладает геропротекторным потенциалом. В связи с этим требуются дальнейшие исследования для выявления механизмов воздействия экстракта барбариса на продолжительность жизни и ее качество.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» (№ 1021062211102-1-1.6.8)

Литература

1. Carruba, G., L. Cocciadiferro, A. Di Cristina, O. M. Granata, C. Dolcemascolo, I. Campisi, M. Zarcone, M. Cinquegrani, A. Traina Nutrition, aging and cancer: lessons from dietary intervention studies // Immunity & ageing, 2016. V. I &A. P. 13-13.

2. Piper, M. D. W., L. Partridge Drosophila as a model for ageing // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease, 2018. V. (9, Part A). P. 2707-2717.
3. Tena, N., J. Martín, A. G. Asuero State of the Art of Anthocyanins: Antioxidant Activity, Sources, Bioavailability, and Therapeutic Effect in Human Health // Antioxidants, 2020. V.9(5). P. 451.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ НА ПРОЛИФЕРАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФЛЭЧ-104 *IN VITRO*

А.В. Ермакова, И.О. Велегжанинов

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
e-mail: ermakova_a.v@ib.komisc.ru

Исследование биологических эффектов малых доз ионизирующего излучения (ИИ) по-прежнему находится в центре внимания научных исследований из-за неизбежности воздействия на клетки человека ионизирующего излучения. Организм человека подвергается фоновым источникам излучения (радиоизотопы земной коры, космические лучи и т.д.) и источникам, образующимся в результате техногенной деятельности человека (атомная энергетика, радиоактивные отходы, аварии, облучение в клинической и диагностической практике и т.д.). Высокие дозы ИИ в повседневной жизни человека встречаются крайне редко, в гораздо большей степени человек подвергается воздействию малых доз ИИ. По-прежнему существует множество разногласий о механизме действия радиации в малых дозах на человеческий организм и различные его клетки (Tharmalingam S. и др., 2019). Поэтому исследование эффектов действия малых доз ИИ на биологические системы актуально как для понимания фундаментальных процессов функционирования клеток человека при действии ИИ в малых дозах, так и для практического здравоохранения.

Одним из наиболее известных биологических эффектов малых доз ИИ является ускорение пролиферации клеток. Впервые данные об этом эффекте появились в 80-х гг. XX века, когда Luckey продемонстрировал стимуляцию синтеза ДНК и белка в ответ на облучение в малых дозах (и предложил термин «радиационный гормезис»), а также в 1986 году Croute et al показали усиление пролиферации при действии хронического ИИ в малых дозах. В дальнейшем это было показано на различных клетках *in vitro*: остеобластах (Chen et al., 2014), гематопоэтических клетках (Li et al., 2004) и мезенхимальных стволовых клетках (Liang et al., 2011) млекопитающих, эндотелиальных (HUVEC) и эпителиальных (RWPE-1) клетках человека, а также в различных тканях *in vivo* – клетках костного мозга (Li et al., 2004; Wang et Cai, 2000) и остеобластах (Chen et al., 2014).

Цель нашего исследования – изучение влияния малых доз ионизирующего γ-излучения на пролиферативный потенциал ФЛЭЧ-104, а также поиск механизмов нового феномена радиационно-индуцированного замедления клеточного старения.

Изначально наше исследование было посвящено изучению клеточного старения фибробластов человека. При совместных исследованиях ИБ ФИЦ КНЦ УрО РАН и Канадских ядерных лабораторий (Canadian Nuclear Laboratories) был обнаружен феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения фибробластов человека (HFL-1) при дозах 1.25 и 10 сГр. Оказалось, что кривые увеличения доли стареющих клеток, облученных на ранних пассажах в указанных дозах, лежат под кривой для контрольной культуры, а это значит, что доля стареющих клеток после облучения малыми дозами, была ниже, чем в клеточной культуре, не подвергавшейся облучению. Все это также подтверждается исследованием уровня экспрессии генов *p19* и *p21*. Уровень экспрессии данных генов был заметно ниже в культуре, облученной малыми дозами по сравнению с необлученной стареющей культурой.

Далее был проведен подобный эксперимент в ИБ ФИЦ КНЦ УрО РАН, но уже на другой клеточной линии, доступной, в отличие от HFL-1, в России – аналогичных ФЛЭЧ-104, в котором была проанализирована дозовая зависимость обнаруженного феномена. Как и ожидалось, выявленный феномен также проявился в данной культуре фибробластов, и проявился он на 30 сутки после облучения в дозах 3 и 5 сГр и наблюдался вплоть до 51 дня после облучения. Таким образом, был выявлен диапазон малых доз, при котором наблюдался феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения.

Новый феномен не объясняется только лишь известной ранее стимуляцией пролиферации, так как последняя должна приводить к более быстрому истощению пролиферативного потенциала культуры. Кроме того, выявленный в ходе исследования феномен индуцируется после однократного кратковременного облучения, тогда как стимуляцию пролиферации в подавляющем большинстве экспериментов наблюдали в результате хронического низкоинтенсивного облучения. Изучая радиационно-индуцированную пролиферацию фибробластов при помощи визуального подсчета клеток в поле зрения светового микроскопа дважды: через день после пересадки и в день перед последующей пересадкой, мы обнаружили что облучение в дозах 3 и 5 сГр вызывало тенденцию к снижению скорости пролиферации относительно необлучённого контроля, несмотря на то, что для многих аналогичных экспериментальных моделей известен обратный эффект. Эффект стимуляции пролиферации в дозах 3 и 5 сГр, в нашей модели присутствовал, однако проявлялся он не сразу после облучения, а спустя несколько недель. Стоит отметить, что ускорение пролиферации фибробластов происходило в тот же период времени после облучения, что и замедление клеточного старения. В совокупности результаты свидетельствуют о том, что облучение фибробластов в указанных малых дозах (3 и 5 сГр) приводит к увеличению их пролиферативного потенциала, то есть клетки делятся быстрее и дольше сохраняют способность быстро делиться. Возникает вопрос: по какой причине это происходит. Конечно, здесь не идет речь об изменении лимита Хейфлика, в норме значительная доля клеток его не достигают, но низкоинтенсивное облучение, по всей видимости, снижает частоту наступления стресс-индуцированного клеточного старения, увеличивая пролиферативный потенциал, приближая его к тому, который мы бы наблюдали, если бы он зависел только от укорочения теломерных участков хромосом. При этом механизмы стимуляции пролиферации хорошо изучены и доказаны – за счет активации сигнальных каскадов митоген-активируемых протеин-киназ (MAPK/ERK1/2) и PI3K/AKT/mTOR, тогда как является ли замедление клеточного старения простым следствием стимуляции пролиферации или же имеет под собой отдельный механизм, не в полной мере ясно. Поэтому мы решили проверить, отменит ли ингибирование этих двух сигнальных каскадов феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения в нашей модели исследования. Для этого мы заингибировали два сигнальных каскада соответствующими ингибиторами и измерили долю X-Gal позитивных (стареющих) клеток и получили, что ингибирование сигнальных каскадов по отдельности и одновременно сразу двух без воздействия облучения приводит к замедлению клеточного старения (как и было показано другими учеными). Что для нас было парадоксальным, облучение отменяет эффект ингибирования. Возможно, за счет того, что облучение вновь активирует данные сигнальные каскады. Соответственно, теперь мы знаем, что феномен замедления клеточного старения и стимуляция пролиферации клеток имеют разные механизмы. Возможно, в данном исследовании присутствует адаптивный ответ, но у нас нет ни доказательств, ни опровержения этой гипотезы. Необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, выявлен диапазон малых доз, при котором наблюдается феномен радиационно-индуцированного замедления клеточного старения фибробластов человека, который сопровождается увеличением их скорости пролиферации после однократного облучения на ранних пассажах, что приводит к увеличению пролиферативного потенциала ФЛЭЧ-104.

Работа выполнена при поддержке проекта молодых ученых и аспирантов УрО РАН «Механизмы реализации нелинейности эффектов ионизирующего излучения в диапазоне малых доз в первичной культуре фибробластов человека» (13-4-НП-180, 2013 г.), молодежного гранта РФФИ (16-34-00367 мол_а «Поиск механизмов нового феномена радиационно-индуцированного замедления клеточного старения») в 2016-2017 г.г.

Литература

1. Tharmalingam S. Re-evaluation of the linear no-threshold (LNT) model using new paradigms and modern molecular studies // Chemico-Biological Interactions, 2019. T. 301. P. 54–67.

2. Chen M., Huang Q., Xu W., She C., Xie Z.G., Mao Y.T., Dong Q.R., Ling M. Low-dose X-ray irradiation promotes osteoblast proliferation, differentiation and fracture healing // PLoS One, 2014. V. 9. № 8.
3. Li W., Wang G., Cui J., Xue L., Cai L. Low-dose radiation (LDR) induces hematopoietic hormesis: LDR-induced mobilization of hematopoietic progenitor cells into peripheral blood circulation // Exp Hematol, 2004. V. 32. № 11. P. 1088-1096.
4. Liang X., So Y.H., Cui J., Ma K., Xu X., Zhao Y., Cai L., Li W. The low-dose ionizing radiation stimulates cell proliferation via activation of the MAPK/ERK pathway in rat cultured mesenchymal stem cells // J Radiat Res, 2011. V. 52. № 3. P. 380-386.
5. Wang G.J., Cai L. Induction of cell-proliferation hormesis and cell-survival adaptive response in mouse hematopoietic cells by whole-body low-dose radiation // Toxicol Sci, 2000. V. 53. № 2. P. 369-376.

ЭФФЕКТЫ КОМПОНЕНТОВ ЦИКЛА КРЕБСА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Л.А. Коваль, Д.В. Яковлева, Д.А. Голубев, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

Приоритетным направлением развития современной науки являются исследования в области долголетия, направленные на поиск причин и механизмов старения. Эксперименты в области биогеронтологии и анализ человеческих популяций долгожителей выявили взаимосвязи между типом питания и продолжительностью жизни. В настоящее время по всему миру проводятся исследования, нацеленные на подбор оптимального рациона, который мог бы замедлить процессы старения и развитие возрастных болезней. Универсальность Цикла Кребса позволяет рассматривать его метаболиты в качестве мишеней для разработки геропротекторных и цитопротекторных препаратов. Так, например, было показано, что прием альфа-кетоглутарата продлевает жизнь *Drosophila melanogaster* и *Caenorhabditis elegans* (Chin, Fu et al., 2014; Su, Wang et al. 2019). В другом исследовании малат и фумарат продлевали жизнь *Caenorhabditis elegan* (Edwards, Copes et al., 2013). Также известно, что альфа-кетоглутарат усиливает Syt1-зависимое слияние синаптических везикул с плазматической мембраной, необходимой для передачи сигнала. На основе этих данных авторы предлагают использовать альфа-кетоглутарат в качестве лечения старения и нейродегенеративных расстройств (Ugur, Bao et al., 2017). В связи с этим в нашем исследовании мы изучили влияние основных метаболитов Цикла Кребса на продолжительность жизни и показатели жизнеспособности (динамика циркадных ритмов и изменения проницаемости кишечного барьера) на модели *Drosophila melanogaster.*

Для проведения исследования использовали *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton S* (#1, Bloomington Drosophila Stock Center, США). Вылетевших имаго наркотизировали парами диоксида углерода, разделяли по полу и рассаживали по 30 шт на пробирку («*Drosophila* vial»,Genesee Scientific, USA) с питательной средой, содержащей исследуемые кислоты в концентрациях 10 нМ, 100 нМ, 1 мкМ, 10 мкМ, 100 мкМ и 1 мМ (для анализа продолжительности) и 100 нМ, 10 мкМ, 1 мМ (для анализа циркадной активности, проницаемости кишечного барьера). Мух содержали в климатических камерах Binder, KBF720-ICH, 720 l (Binder, Germany) при 25^0 С и 12-часовым режимом освещения. Исследуемые кислоты: альфа-кетоглутаровая, янтарная, фумаровая, яблочная, лимонная (Sigma-Aldrich, США).

Статистический анализ данных проводили с использованием, статистической среды R версия 2.15.1 (The R Foundation) и OASIS 2: онлайн-приложение для анализа смертности (https://sbi.postech.ac.kr/oasis2/surv/#). Для сравнения распределения смертности в выборках использовали критерий Колмогорова-Смирнова. Достоверность различий в перцентилях выживаемости и проницаемости кишечного барьера рассчитывали по критерию Фишера. По U-критерию Манна-Уитни рассчитывали различия в циркадной активности.

Для того чтобы исключить влияние ограничительной диеты на результаты эксперимента провели анализ уровня поступления ОМЦК в организм дрозофил. Достоверных различий не обнаружили ($p>0.05$ по критерию Фишера), поэтому возможное влияние ограничительной диеты на результаты эксперимента исключили (рис.1).

Продолжительности жизни особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton S* после приема кислот цикла Кребса. У самцов, которым в питательную среду добавляли альфакетолутаровую кислоту наблюдали снижение смертности на 2 % на 50-перцентиле при концентрации 1 мМ, при концентрации 10 нМ и 100 нМ наблюдали увеличение смертности до 4% на 25-, 50-, 75- и 90-перцентилях, соответственно. Янтарная кислота в концентрации 10 мкМ

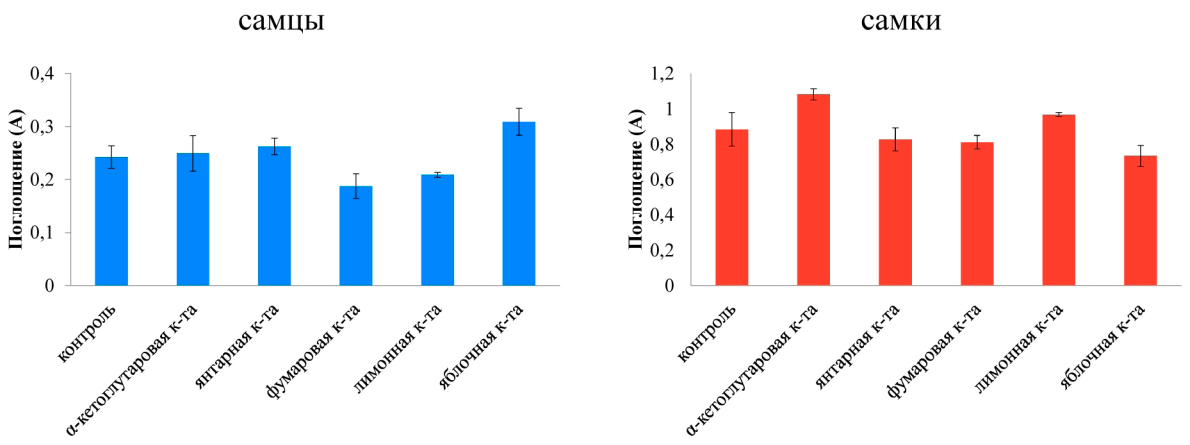


Рис.1. Контроль потребления исследуемых веществ. Различия достоверны при *p<0.01 по критерию Фишера относительно варианта контроль.

снизила смертности на 6 % на 90-перцентиле. В концентрации 1 мкМ, наоборот, увеличила смертность на 4, на 2 и на 2 %% на 25, 50, 75 перцентилях, соответственно. Фумаровая кислота в концентрации 10 мкМ, 100 мкм и 1мМ увеличила смертность до 9 % у всех сравниваемых перцентилей. Однако при концентрации 10 нМ наблюдали снижение смертности на 2 6 и 7 %% на 25- и 50-перцентилях, соответственно. Лимонная кислота в концентрациях 1 мМ, 100 мкМ и 1 мкМ привела к снижению смертности до 7 % у всех сравниваемых перцентилей. Яблочная кислота в концентрации 1 мМ снизила смертность на 2% на 75-перцентиле, но при этом в концентрациях 10 мкМ, 1 мкМ и 10 нМ наблюдали увеличение смертности до 9 % у всех сравниваемых перцентилей (табл.1). У самок наблюдали снижение исследуемых параметров выживаемости до 19% (табл.1).

Практически все физиологические и поведенческие процессы у подавляющего большинства видов на Земле согласованы с циркадными ритмами. Учеными установлено, что соблюдение циркадных ритмов коррелирует с большей продолжительностью жизни, тесно связано с развитием заболеваний и наступлением старения (Chang and Guarente, 2013; Duffy, Zitting et al., 2015; Hood and Amir, 2017; Liu and Chang, 2017; Manoogian and Panda, 2017; Lananna and Musiek, 2020; Welz and Benitah, 2020). В ходе проведенного исследования выявили, что у самцов в возрасте 4 недели происходит достоверное изменение циркадной активности при добавлении в пищу альфа-кетоглутаровой кислоты во всех концентрациях (снижение), янтарной кислоты во всех концентрациях (снижение), лимонной кислоты в концентрациях 1 мМ (снижение), 10 мкМ (повышение) и яблочной кислоты в концентрации 100 нМ (повышение) (рис. 2). У старых особей наблюдается общее снижение активности, а также разрушение стабильности ритма, по сравнению с молодыми особями. Наблюдали изменение циркадной активности при добавление в пищу 8-недельным самцам альфа-кетоглутаровой кислоты в концентрации 100 нМ (увеличение), янтарной кислоты в концентрации 10 мкМ (снижение), фумаровой кислоты в концентрациях 10 мкМ (увеличение) и 100 нМ (снижение), лимонной кислоты в концентрациях 10 мкМ (снижение) и 1 мМ (увеличение) (рис. 3).

У самок в возрасте 4 недели наблюдали изменение циркадной активности при добавлении в пищу альфа-кетоглутаровой кислоты в концентрациях 100 нМ и 1 мМ (повышение), янтарной кислоты в концентрациях 100 нМ и 1 мМ (повышение), лимонной кислоты в концентрациях 10 мкМ и 100 нМ (снижение), и яблочной кислоты во всех концентрациях (снижение). У 8-недельных самок обнаружили изменение циркадной активности при добавлении в пищу альфа-кетоглутаровой кислоты во всех концентрациях (снижение), янтарной кислоты во всех концентрациях (снижение), фумаровой кислоты в концентрациях 10 мкМ (снижение) и 100 нМ (снижение).

Желудочно-кишечный тракт обладает функцией барьера, препятствующего проникновению из полости тонкой и толстой кишки во внутреннюю среду организма пищевых антиге-

Таблица

Влияние исследуемых кислот цикла Кребса на перцентили выживаемости особей *Drosophila melanogaster*

Вариант эксперимента		N	Перцентили выживаемости, сут.				N	Перцентили выживаемости, сут.			
			25	50	75	90		25	50	75	90
		самцы					самки				
контроль		1276	53	58	64	67	1278	62	70	77	79
Альфа-кетоглутаровая кислота	1 мМ	294	51	59 *	65	67	274	62	67	74 *	78 *
	100 мкМ	289	50	58	64	65	284	63	67	74 *	78 *
	10 мкМ	284	52	59	64	65	280	64	67 *	73 *	78 *
	1 мкМ	283	55	58	65	66	292	57 *	65 *	72 *	76 *
	100 нМ	270	52	58	63	64 *	278	52 *	65 *	72 *	76 *
	10 нМ	267	51 *	57 *	62 *	65 *	254	57 *	63 *	71 *	76 *
Янтарная кислота	1 мМ	275	52	57	63	66	285	62	69 *	74 *	77 *
	100 мкМ	286	52	57	63	66	295	62	70	76 *	78
	10 мкМ	292	55	58	64	71 *	284	64	71	76	80
	1 мкМ	281	51 *	57 *	63 *	66	297	58	69	74 *	79
	100 нМ	278	51 *	56 *	63 *	64 *	269	57 *	66 *	73 *	77
	10 нМ	256	51 *	57	63	65	299	59 *	66 *	73 *	77 *
Фумаровая кислота	1 мМ	297	48 *	56 *	62 *	64	289	62 *	69 *	72 *	77
	100 мкМ	291	50 *	56 *	62 *	64	288	62 *	69 *	72 *	76 *
	10 мкМ	266	52	56	62 *	66	284	58 *	66 *	72 *	76 *
	1 мкМ	282	50 *	56 *	62	66	296	62	70 *	76 *	77
	100 нМ	277	51	57	63	69	270	60	69 *	75 *	77
	10 нМ	300	56 *	62 *	64	68	301	57 *	68 *	75 *	78
Лимонная кислота	1 мМ	294	55	60 *	64	69	289	65	72	76	80
	100 мкМ	295	56 *	62 *	66 *	69 *	263	62	71	75	80
	10 мкМ	294	51	60	64	69	288	61	69 *	73 *	78 *
	1 мкМ	280	53	60	64	69 *	271	57 *	68 *	72 *	76 *
	100 нМ	292	53	60	64	69	284	62	70	73 *	79
	10 нМ	277	55	60	63	67	297	58	69	74 *	78 *
Яблочная кислота	1 мМ	290	52	59	65 *	68	287	61	70	74	79 *
	100 мкМ	301	52	57	64	67	285	61	71	73 *	79 *
	10 мкМ	282	48 *	57	63	66	278	57 *	68 *	72 *	77 *
	1 мкМ	291	44 *	54 *	59 *	65 *	286	50 *	65 *	71 *	75 *
	100 нМ	287	52	57	65	65	272	58 *	65 *	71 *	76 *
	10 нМ	267	53 *	57 *	62 *	65 *	283	60 *	66 *	70 *	72 *

N- объем выборки. Различия достоверны при *p<0.008 по критерию Фишера относительно варианта контроль

нов, бактериальных токсинов, вирусов и микроорганизмов. Нарушение барьерной функции может стать причиной развития различных патологических состояний. Такое же нарушение барьерной функции происходит с возрастом. К одной из причин у Drosophila относят нарушение регуляторной цепи IRBIT-RNR (Herrick and Sclavi, 2007; Arnaoutov, Lee et al., 2020). В нашем исследовании мы показали, что с возрастом снижается прочность кишечного барьера у старых дрозофил (9 недель), по сравнению с молодыми особями (1 неделя). После приема метаболитов цикла Кребса в течение 9 недель наблюдали достоверное снижение процента мух с фенотипом «смурф» только у самок в вариантах янтарная к-та 1 мМ и 100 нМ в 5 и 3 раза и при приеме яблочной кислоты в концентрации 1 мМ на 100%. в остальных вариантах различия были недостоверны, либо наблюдали увеличение процентов смурфов в выборках (рис. 4).

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-75-00043“Исследование геропротекторных свойств метаболитов цикла Кребса на модели Drosophila melanogaster”.

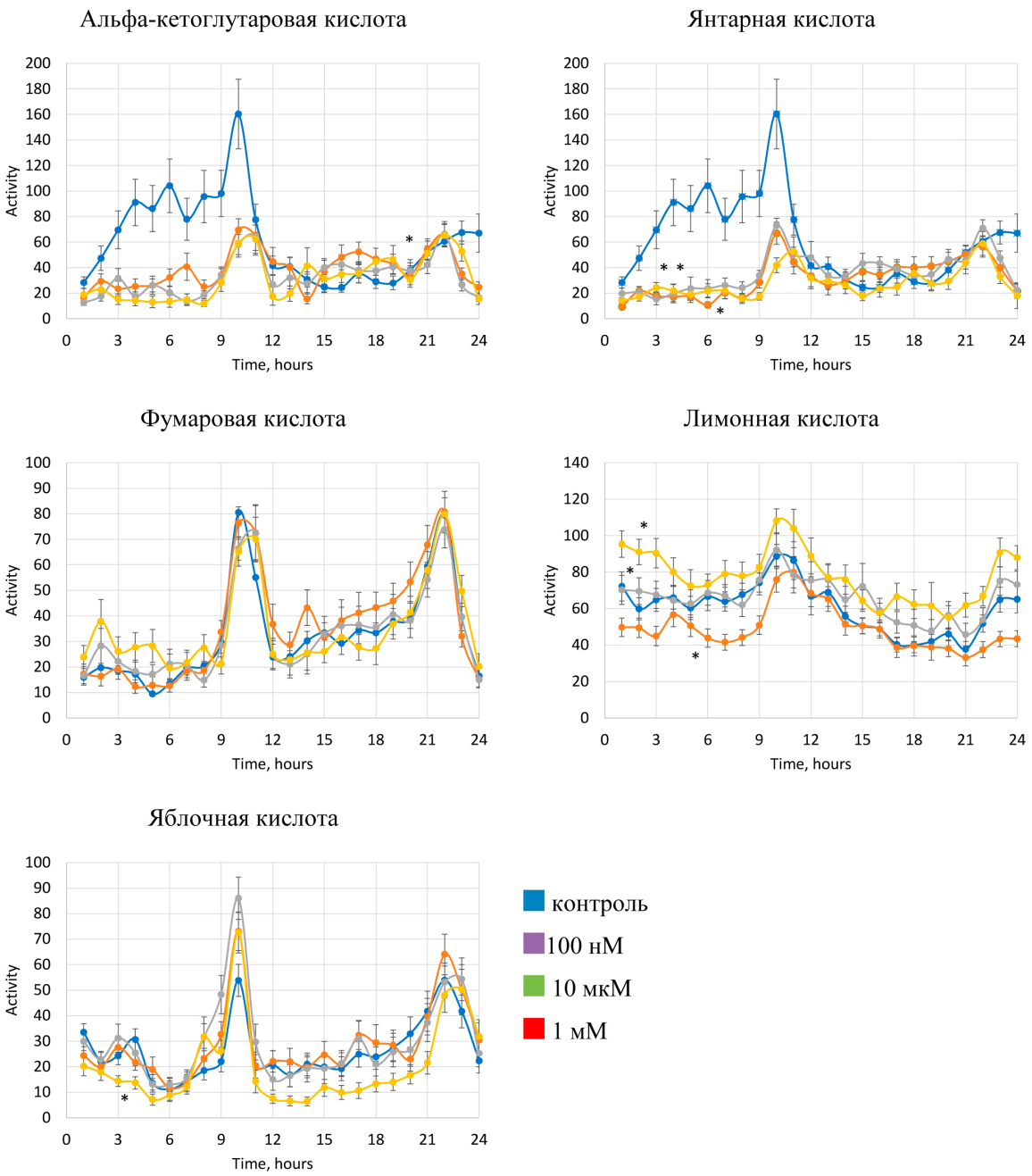


Рис. 2. Влияние метаболитов цикла Кребса на циркадную активность самцов в возрасте 4 недели. Различия достоверны при *p<0.017 по U-критерию Манна-Уитни относительно варианта контроль.

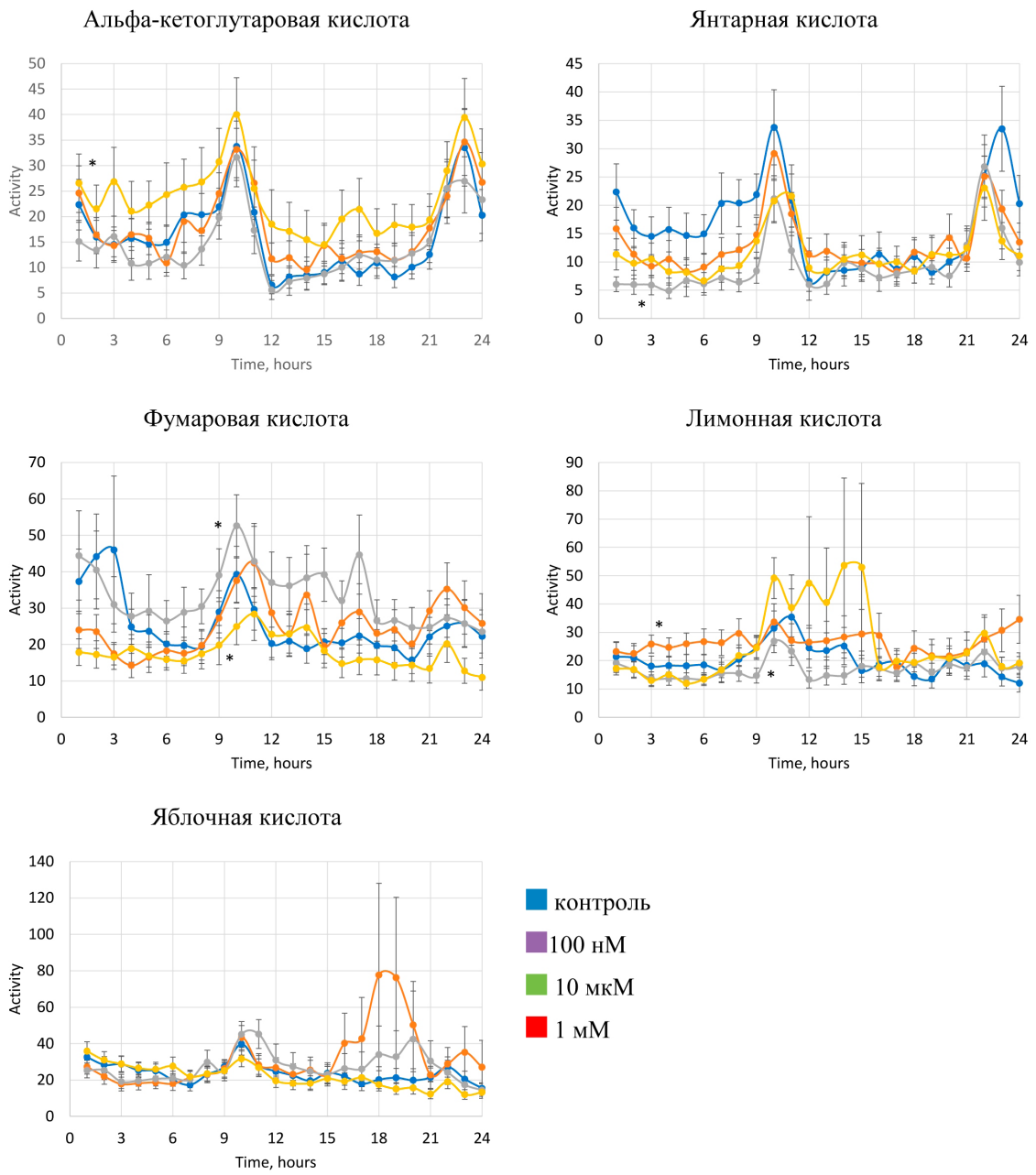
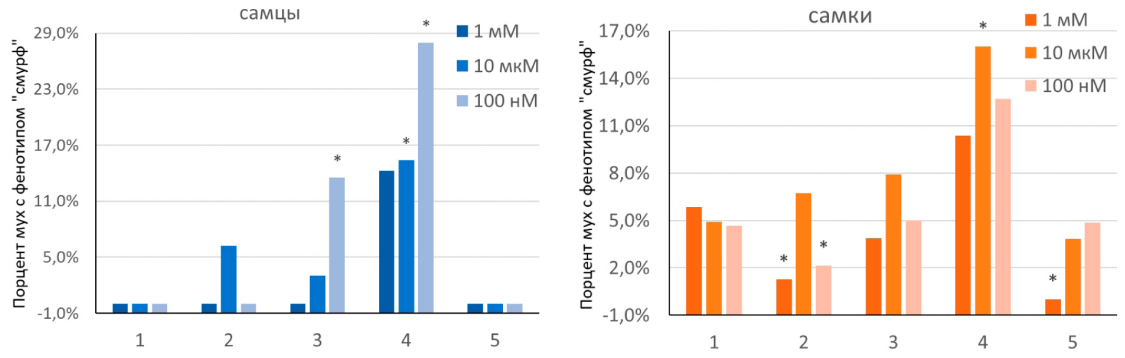


Рис. 3. Влияние метаболитов цикла Кребса на циркадную активность самцов в возрасте 8 недель. Различия достоверны при *p<0.017 по U-критерию Манна-Уитни относительно варианта контроль.



1 - альфа-кетоглутаровая кислота, 2 - янтарная кислота, 3 - фумаровая кислота,

4 - лимонная кислота, 5 - яблочная кислота

Рис. 4. Влияние метаболитов цикла Кребса на проницаемость кишечного барьера. Различия достоверны при *p<0.017 по критерию Фишера.

Литература

1. Arnaoutov A., H. Lee K. Plevock H.V., Aksenova M. J., Oliver B., Serpe M., Dasso M. IRBIT Directs Differentiation of Intestinal Stem Cell Progeny to Maintain Tissue Homeostasis // iScience, 2020. Vol. 23. № 3. P. 100954.
2. Chang H.-C., Guarente L. SIRT1 mediates central circadian control in the SCN by a mechanism that decays with aging // Cell, 2013. Vol. 153. № 7. P. 1448-1460.
3. Chin R. M., Fu X., Pai M. Y., Vergnes L., et al. The metabolite alpha-ketoglutarate extends lifespan by inhibiting ATP synthase and TOR // Nature, 2014. Vol. 510. № 7505. P. 397-401.
4. Duffy J. F., Zitting K.M., Chinoy E.D. Aging and Circadian Rhythms // Sleep Med Clin, 2015. Vol. 10. № 4. P. 423-434.
5. Edwards C.B., Copes N., Brito A.G., Canfield J., Bradshaw P.C. Malate and fumarate extend lifespan in Caenorhabditis elegans // PLoS One, 2013. Vol. 8. № 3. P. e58345.
6. Herrick J., Sclavi B. Ribonucleotide reductase and the regulation of DNA replication: an old story and an ancient heritage // Mol Microbiol, 2007. Vol. 63. № 1. P. 22-34.
7. Hood S., Amir S. The aging clock: circadian rhythms and later life // J Clin Invest, 2017. Vol. 127. № 2. P. 437-446.
8. Lananna B.V., Musiek E.S. The wrinkling of time: Aging, inflammation, oxidative stress, and the circadian clock in neurodegeneration // Neurobiol Dis, 2020. №. 139. P. 104832.
9. Liu F., Chang H.C. Physiological links of circadian clock and biological clock of aging // Protein Cell, 2017. Vol. 8. № 7. P. 477-488.
10. Manoogian E.N.C., Panda S. Circadian rhythms, time-restricted feeding, and healthy aging // Ageing Res Rev, 2017. Vol. 39. P. 59-67.
11. Su Y., Wang T., Wu N., Li D., et al. Alpha-ketoglutarate extends Drosophila lifespan by inhibiting mTOR and activating AMPK // Aging (Albany NY), 2019. Vol. 11. № 12. P. 4183-4197.
12. Ugur B., Bao H., Stawarski M., Duraine L.R., et al. The Krebs Cycle Enzyme Isocitrate Dehydrogenase 3A Couples Mitochondrial Metabolism to Synaptic Transmission // Cell Rep, 2017. Vol. 21. № 13. P. 3794-3806.
13. Welz P.S., Benitah S.A. Molecular Connections Between Circadian Clocks and Aging // J Mol Biol, 2020. Vol. 432. № 12. P. 3661-3679.

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД *VACCINIUM ULIGINOSUM* L. И *EMPETRUM NIGRUM* SSP. *HERMAPHRODITUM* L. НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.В. Кукумань, Д.А. Голубев, Н.В. Земская, М.В. Шапошников, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kukuman@ib.komisc.ru

Антоцианы – вещества растительного происхождения, относящиеся к группе флавоноидов. Они обладают противодиабетическими, противоопухолевыми, противовоспалительными, противомикробными свойствами, могут предотвращать сердечно-сосудистые заболевания, а также увеличивают продолжительность жизни разных модельных организмов (Khoo et al., 2017; Pallauf et al., 2017). Плоды *Vaccinium uliginosum* L. (голубики обыкновенной) и *Empetrum hermaphroditum* L. (водяники гермафродитной) являются отличными источниками антоцианов (Ma et al., 2018; Jurikova et al., 2016). Мы предположили, что добавление экстрактов этих ягод к рациону *Drosophila melanogaster* может оказать благотворное влияние на продолжительность и качество жизни дрозофил.

Цель данной работы заключалась в исследовании потенциальных геропротекторных свойств и механизмов действия экстрактов растений местной флоры (Республика Коми) на модели *Drosophila melanogaster*. Для этого нам предстояло оценить влияние экстрактов *Vaccinium uliginosum* L. и *Empetrum hermaphroditum* L. на продолжительность жизни (ПЖ), стрессоустойчивость и двигательную активность дрозофил.

Плоды голубики и водяники были собраны в Печорском районе около реки Кожва в 2019 году. Для проведения исследований использовали особей *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* (#1, Блумингтон, США), которых содержали в климатических камерах Binder, BF720-ICH, 720 l (Биндер, Германия) при 25 °C и относительной влажности 60% при 12-ти часовом режиме освещения. Растворы экстрактов голубики и водяники в этаноле в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 мг/мл добавляли на поверхность питательной кукурузной среды в объеме 30 мкл. В качестве контроля на среду наносили 30 мкл 96%-ного этанола. Изучали влияние экстрактов на продолжительности жизни (медианная ПЖ и возраст гибели 90% особей выборки), локомоторную активность, а также устойчивость дрозофил к воздействию неблагоприятных факторов среды (окислительный стресс, гипертермия, голодание).

Экстракт голубики в концентрации 1 мг/мл привел к увеличению медианной ПЖ самок на 5% ($p < 0.01$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона), а самцов – на 3% ($p < 0.0001$). Максимальная ПЖ самок увеличилась при воздействии экстракта в концентраций 1, 2.5, и 5 мг/мл на 1% ($p < 0.05$, критерий Ванг-Алиссона), а самцов – на до 6% ($p < 0.0001$). Однако экстракт голубики в концентрации 0.01 мг/мл приводил к снижению максимальной ПЖ у самок на 3% ($p < 0.0001$), а у самцов концентрации 2.5 и 5 мг/мл приводили к снижению медианной ПЖ на 2% ($p < 0.0001$) и на 7% ($p < 0.01$), соответственно.

Экстракт водяники гермафродитной в концентрации 2.5 мг/мл вызывал увеличение медианной ПЖ самок на 3% ($p < 0.05$). У самцов наблюдали увеличение медианной ПЖ на 6 % при концентрации 0.01 мг/мл ($p < 0.001$) и на 4% при концентрациях экстракта в 0.1 и 1 мг/мл ($p < 0.05$). Экстракт в концентрации 1 мг/мл приводил к снижению максимальной ПЖ самок на 3% ($p < 0.0001$).

На основании полученных результатов мы выбрали максимально действующие концентрации экстрактов голубики и водяники для последующего изучения эффектов этих ягод на стрессоустойчивость и локомоторную активность: экстракт голубики обыкновенной в концентрации 1 мг/мл и водяники гермафродитной в концентрации 2.5 мг/мл.

Обработка дрозофил экстрактом голубики в концентрации 1 мг/мл вызывает статистически значимое увеличение адаптационных возможностей самок к действию гипертермии на

21% (p <0.01, критерий Фишера) и к голоданию на 17% (p> 0.05). Экстракт голубики повысил устойчивость самцов к действию индуктора окислительного стресса параквата на 9% (p <0.05), но снизил устойчивость к голоданию на 38% (p <0.05). Экстракт водяники в концентрации 2.5 мг/мл привел к увеличению устойчивости самок к действию гипертермии на 14% (p <0.05) и оксидативному стрессу на 33% (p <0.05). У самцов экстракт водяники привел к увеличению устойчивости к действию гипертермии (p <0.05) и оксидативному стрессу (p <0.01) на 11 %.

При изучении влияния экстрактов на локомоторную активность дрозофил не было получено статистически значимых эффектов, кроме того, что экстракт голубики снижал локомоторную активность самок на 8 неделе на 81% (p <0.01, t-критерий Стьюдента), а у самцов – на 4 неделе на 51% (p <0.05). Полученные нами результаты указывают на то, что изученные экстракты не оказывают существенного влияния на локомоторную активность дрозофил.

В целом, можно сделать вывод, что этанольные антоциановые экстракты *Vaccinium uliginosum* L. и *Empetrum hermaphroditum* L. оказывают положительный эффект на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*. Экстракт *Vaccinium uliginosum* L. в концентрации 1 мг/мл увеличивал устойчивость самцов к оксидативному стрессу, но снизил устойчивость к голоданию, не оказывая влияния на устойчивость к действию гипертермии. У самок добавление в пищу экстракта голубики привело к повышению устойчивости к голоданию и гипертермии, при этом экстракт не оказал влияние на устойчивость к действию прооксиданта параквата. Экстракт *Empetrum hermaphroditum* L. в концентрации 2.5 мг/мл увеличивал устойчивость дрозофил к оксидативному стрессу и гипертермии, но не оказывал влияние на устойчивость к голоданию. Также было показано, что экстракты *Vaccinium uliginosum* L. и *Empetrum hermaphroditum* L. не оказывают существенного влияния на двигательную активность.

Выражаем благодарность Пунегову Василию Витальевичу (Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) за помощь в получении экстрактов растений, Патову Сергею Александровичу (Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) за проведение ВЭЖХ анализа экстрактов, Каневу Владимиру Алексеевичу (Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) за помощь в определении растений, собранных для проведения экспериментов.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» (№ 1021062211102-1-1.6.8).

Литература

1. Jurikova T., Mlcek J., Skrovankova S., Balla S., Sochor J., Baron M., Sumczynski D. Black Crowberry (Empetrum nigrum L.) Flavonoids and Their Health Promoting Activity // Molecules, 2016. V. 21. № 12. P. 1685.
2. Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // Food Nutr Res., 2017. V. 61. № 1. P. 1361779.
3. Ma L., Sun Z., Zeng Y., Luo M., Yang J. Molecular Mechanism and Health Role of Functional Ingredients in Blueberry for Chronic Disease in Human Beings // Int J Mol Sci., 2018. V. 19. № 9. P. 2785.
4. Pallauf K., Duckstein N., Rimbach G. A literature review of flavonoids and lifespan in model organisms // Proc Nutr Soc., 2017. V. 76. № 2. P. 145−162.

МОДЕЛЬ ХРОНОЛОГИЧЕСКОГО/«СТАЦИОНАРНОГО» СТАРЕНИЯ КУЛЬТУР КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ ДЛЯ ПОИСКА И ТЕСТИРОВАНИЯ ГЕРОПРОТЕКТОРОВ

Г.В. Моргунова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
E-mail: morgunova@mail.bio.msu.ru

Существующие модели для изучения старения на клеточном уровне можно разделить на две группы – репликативное и хронологическое старение. К первой группе относится старение по Хейфлику и старение материнских клеток дрожжей, в обоих случаях клетки изменяются от деления к делению. При хронологическом старении изучаются изменения в неделящихся клетках. Такое старение обычно исследуется на дрожжах, хотя его можно также моделировать на бактериях и культурах клеток млекопитающих (в отношении бактерий и клеток млекопитающих чаще используют сочетание «стационарное» старение). Если в модели репликативного старения изучается изменение клеток, которые постепенно исчерпывают свой пролиферативный потенциал, то при хронологическом старении изучаются изменения клеток, пролиферация которых по тем или иным причинам остановилась – например, из-за контактного торможения или при помещении каждой отдельной клетки в лунку, не позволяющую ей делиться (Yang et al., 2019). Промежуточное положение занимает стресс-индуцированное преждевременное старение, в рамках которого вызывают появление в клетках «старческих» изменений, воздействуя на них разными физическими и химическими факторами (ультрафиолетовое излучение, перекись водорода, доксорубицин и т.д.). Каждая из моделей помогает исследовать старение разных типов клеток: старение по Хейфлику – клеток, которые активно делятся; старение материнской клетки дрожжей – стволовых клеток; хронологическое старение – постмитотических клеток (Longo et al., 2012).

Одним из заметных преимуществ модели хронологического старения можно считать возможность построения кривых вымирания для культуры клеток, подобные тем кривым вымирания, которые строят для когорт животных или людей (Khokhlov et al., 2019), что даёт возможность выявлять геропротекторные эффекты у тестируемых соединений. Хотя наиболее часто хронологическая модель старения используется в экспериментах на дрожжах, её применение к клеткам млекопитающих также является вполне целесообразным (Leontieva, Blagosklonny, 2011). Среди таких клеток одними из самых хорошо изученных в генетическом и метаболическом плане можно считать клетки китайского хомячка, с помощью которых в промышленных масштабах получают рекомбинантные белки (Lewis et al., 2013; Morgunova et al., 2020).

При работе с моделью нам необходимо получать информацию о состоянии культуры клеток на протяжении длительного времени. Для этого мы засеваем клетки китайского хомячка перевиваемой линии B11-dii-FAF28 (ФГБНУ «Медико-генетический научный центр», г. Москва) в большое количество флаконов, культивируем их при 37 °C на среде Игла в модификации Дульбекко (HyClone, США) с добавлением 10 % сыворотки крови крупного рогатого скота («Биолот», Россия), 100 ед./мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина. На следующие сутки после посева подсчитываем количество прикрепившихся клеток и добавляем к культуре клеток исследуемое соединение, в контрольной группе – соответствующий объём растворителя. Через определённые промежутки времени отбираем случайным образом флаконы и снимаем клетки с поверхности роста смесью растворов версена и трипсина, затем оцениваем их количество с помощью счётных камер (3 – 4 флакона из каждой группы на одну точку, 4 камеры на каждый флакон). В случае, когда изучается также экспрессия генов в клетках разного возраста, часть флаконов отбирается для выделения нуклеиновых кислот. На основании полученных данных строятся кривые роста, пребывания в стационарной фазе и гибели клеток. Кривые гибели клеток мы аппроксимируем с помощью уравнения Гомпертца. Используя дан-

ные о кинетике вымирания культуры клеток, рассчитываем среднюю, медианную и 90%-ную продолжительность жизни, а также оцениваем другие демографические показатели – например, темп старения – и проводим статистическую обработку данных.

Ранее в наших экспериментах мы показали влияние некоторых соединений на «стационарное» старение изучаемых клеток. Например, окисленный гуанозид 8-оксо-2'-десокисгуназин сокращает среднюю продолжительность жизни клеток, а изотонический раствор на основе морской воды «Квинтон» способствует увеличению как средней, так и максимальной продолжительности жизни культуры. В настоящее время в данной модельной системе мы исследуем влияние стрессирующих факторов на профили экспрессии генов, связанных с аутофагией и метаболизмом лактата, а также изучаем воздействие миметиков ограничения питания на кинетику гибели культуры клеток. Согласно нашим данным, в «стационарно старых» клетках (по сравнению с «молодыми») повышен уровень экспрессии генов, ассоциированных с аутофагией и метаболизмом лактата. В подвергнутых стрессу «молодых» клетках также наблюдается похожая реакция, однако в «старых» клетках она нарушена, вследствие чего уровень указанных генов, напротив, снижается. Это может свидетельствовать о нарушении адаптивной реакции на стресс у «старых» клеток. В наших экспериментах бигаунид метформин вызывает преждевременную гибель клеток в поздней стационарной фазе, причём есть основания полгать, что эффект дозозависимый, однако для однозначного вывода требуются дальнейшие исследования.

Можно полагать, что исследования хронологического/«стационарного» старения не только помогут изучать молекулярные механизмы старения и относительно быстро тестировать геропротектоные препараты, но и будут способствовать усовершенствованию культивирования клеток млекопитающих в биотехнологии.

Литература

1. Khokhlov A.N., Morgunova G.V., Klebanov A.A. Demographic approaches to the study of aging on cell cultures // Moscow Univ. Biol. Sci. Bull, 2019. V. 74. № 4. P. 262–267.
2. Leontieva O.V., Blagosklonny M.V. Yeast-like chronological senescence in mammalian cells: phenomenon, mechanism and pharmacological suppression // Aging (Albany NY), 2011. V. 3. № 11. P. 1078–1091.
3. Lewis N.E., Liu X., Li Y., Nagarajan H., et al. Genomic landscapes of Chinese hamster ovary cell lines as revealed by the Cricetulus griseus draft genome // Nat. Biotechnol, 2013. V. 31. № 8. P. 759–765.
4. Longo V.D., Shadel G.S., Kaeberlein M., Kennedy B. Replicative and chronological aging in Saccharomyces cerevisiae // Cell Metab, 2012. V. 16. № 1. P. 18–31.
5. Morgunova G.V. Chinese hamster cells in biotechnological and gerontological research // Moscow Univ. Biol. Sci. Bull, 2020. V. 75. № 4. P. 199–205.
6. Yang Y., Santos A.L., Xu L., Lotton C., et al. Temporal scaling of aging as an adaptive strategy of Escherichia coli // Sci. Adv, 2019. V. 5: eaaw2069.

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ *PRUNELLA GRANDIFLORA* L. ОТНОСИТЕЛЬНО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ *DROSOPFILA MELANOGASTER*

Орунова Я.Р.[1], Болотник Е.В.[2], Антосюк О.Н.[1]

[1] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
[2] ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (Ботанический сад УрО РАН)
E-mail: yana.orunovaaa@gmail.com

Опухолевые заболевания – серьезная угроза общественному здравоохранению во всем мире. Современная терапия против развития данной группы заболеваний недостаточно эффективна. Все чаще требуется новая оценка альтернативных стратегий, в том числе, основанных на традиционной медицине.

Представители рода *Prunella* используются в исследованиях биомедицинского направления (Шамилов и др., 2020; Huang et al., 2015). Черноголовка содержит эфирные масла и дубильные вещества, что позволяет применять ее отвар при заболеваниях горла и пищеварительного тракта – как в виде полосканий, так и внутрь (Титчмарш, 2011). *Prunella grandiflora* (*P. grandiflora* L.) – черноголовка крупноцветковая, среди всех представителей рода является наименее изученной в отношении проявления биологически активных свойств.

Показан положительный протекторный эффект экстракта *P. grandiflora* относительно токсического воздействия этопозида, однако он не позволяет говорить об универсальности протекторных свойств (Антосюк и др., 2021). Поэтому в данной работе провели анализ универсальности протекторных антигенотоксических свойств *P. grandiflora* в отношении нескольких противоопухолевых препаратов, а именно этопозид, метотрексат и цисплатин на примере *D. melanogaster*.

Была выбрана последовательная схема введения, где экстракт *P. grandiflora* вносили после противоопухолевых препаратов, так как данная схема характеризуется меньшим количеством летальных особей (Магомбе и др., 2021). Для определения антигенотоксических свойств экстракта *P. grandiflora* в данной работе использовали тест на соматический мутагенез и рекомбинации (Somatic Mutation and Recombination Tests (SMART)). Для этого самок из мутантной линии *yellow* скрещивали с самцами из мутантной линии *white singed 3*, поместив их на тестируемую среду на 72 ч. После 72 ч родительское поколение мух удаляли, а из отложенных ими яиц после вылета гибридного потомства (F_1) анализировали самок дикого фенотипа.

Производили осмотр щетинок на теле самок F_1 и отмечали количество нетипичных для нормального фенотипа щетинок по цвету и форме: желтые и (или) опаленные. Нетипичные щетинки регистрировали в таблице как одиночное пятно y (*yellow*) или sn (*singed*) либо двойное y sn. Статистический анализ проводили с помощью программы StatSoft Inc., Statistica, v. 8.0. При сравнении и анализе выборок использовали критерий критерий $\chi 2$ с поправкой Йейтса.

Обнаружили, что этопозид и метотрексат демонстрируют повышенную частоты появления одиночных пятен по типу sn, но в пределах контрольной выборки (таблица).

Также при воздействии этопозида и метотрексата получены особи с нетипичными для классической схемы скрещивания фенотипами у потомства F_1. Появление этих фенотипов характеризуется частотой менее 1% и проявляется отсутствием окраски глаз у дрозофилы.

Во всех экспериментальных выборках, где после применения противоопухолевого препарата использовали экстракт *P. grandiflora* L., наблюдали снижение одиночных пятен по типу sn до частоты контрольной выборки. Несмотря на антигенотоксические свойства экстракта *P. grandiflora* L. в отношении соматического мозаицизма, на данном этапе исследования не выявили потенциала к снижению хромосомных аберраций.

Учёт соматического мозаицизма у *Drosophila melanogaster* при использовании маркеров *yellow* и *singed*

Тестируемые группы	Выборка	Число особей с мутантными пятнами					(χ2)	(p)
		y	sn	y sn	Другие утантные фенотипы	% доля от выборки		
Этопозид (8000 мк/кг)	627	0	8	0	1	1.435	1.68	0.1952
Экстракт P. grandiflora 10%+этопозид (8000 мк/кг)	707	0	1	0	2	0.424	0.02	0.8784
Метотрексат (8000 мк/кг)	351	0	5	0	1	1.709	2.06	0.1509
Экстракт P. grandiflora 10%+метотрексат (8000 мк/кг)	234	0	1	0	0	0.427	0.14	0.7071
Экстракт P. grandiflora 10%+цисплатин (9/1000 мк/кг)	212	0	2	0	0	0.943	0.02	0.8798
Контроль	573	1	2	0	0	0.448	-	-

Литература

1. Антосюк О.Н., Болотник Е.В., Постовалова А.С. Протекторный эффект экстракта *Prunella grandiflora* L. относительно токсического воздействия этопозида на примере *Drosophila melanogaster* // Бюллетень сибирской медицины, 2021. С. 6-11.
2. Магомбе Н., Антосюк О.Н., Болотник Е.В. Изучение протекторных свойств экстракта *Prunella grandiflora* L. относительно воздействия противоопухолевого препарата этопозид на примере *Drosophila melanogaster* // Сборник тезисов VIII международной научно-практическоей конференции молодых ученых биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов в рамки площадки открытых коммуникаций OpenBio: Наукоград Кольцово, 2021. С. 35-36.
3. Титчмарш А. Садовые вредители. СПб.: Петроглиф, 2011. 66 с.
4. Шамилов А.А., Поздняков Д.И., Гарсия Е.Р., Черников М.В. Диуретическая активность представителей рода Prunella (Lamiaceae) // Вестник Смоленской государственной медицинской академии, 2020. Т. 19. №3. С. 201–207.
5. Huang M., Wang Y., Xu L., You M. Anti-tumor properties of *Prunella vulgaris* // Curr Pharmacol Rep, 2015. V. 1. P. 401-419.

ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ ЭФФЕКТЫ АКТИВАЦИИ *DICER* У *DROSOPHILA MELANOGASTER* MEIGEN

Н.Р. Пакшина, Д.В. Яковлева, М.В. Шапошников, Е.Н. Прошкина, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: pakshina.n.r@ib.komisc.ru

Ключевая роль в координации клеточных процессов, необходимых для регуляции генной экспрессии, принадлежит малым РНК и белкам их биогенеза. Они регулируют экспрессию генов на посттранскрипционном уровне, расщепляют свои РНК-мишени или ингибируют их трансляцию. К белкам, обеспечивающим их биогенез и функционирование, относятся белки семейства *Drosha*, *Dicer* и *Argonaute* (Kim, 2009; Melo et al., 2011). Имеются данные, указывающие на их роль в регуляции стрессоустойчивости и продолжительности жизни модельных организмов (Proshkina et al., 2020). Например, белки Drosha и Dicer участвуют в восстановлении двухцепочечных разрывов ДНК (Gioia et al., 2019). Снижение их активности приводит к нарушению ответа на повреждение ДНК и провоцирует фенотип ускоренного старения (Gomez-Cabello et al., 2013; Mudhasani et al., 2008). При этом сверхэспрессия генов семейства *Dicer* продлевает жизнь и повышает устойчивость к стрессорам (Wood et al., 2016). У дрозофил эти гены специализированы на разных типах малых РНК: *Dicer-1* вовлечен в биогенез микроРНК, тогда как *Dicer-2* участвует в биогенезе коротких интерферирующих РНК (Kim et al., 2009).

Целью работы является изучение геропротекторных эффектов генетической и фармакологической активации генов *Dicer* у *Drosophila melanogaster*.

Для изучения эффектов генетической активации генов *Dicer* и РНК-интерференции генов *Dicer* в экспериментах с эноксацином использовали систему GAL4/UAS. В случае со сверхактивацией UAS-линия несла дополнительную копию исследуемого гена под контролем UAS. В случае с РНК-интерференцией UAS-линия экспрессировала двухцепочечную РНК, специфично подавляющую один из исследуемых генов. В качестве GAL4-компонента использованы драйверы GAL4-elav: кондиционный мифепристон-инбуцируемый в эксперименте со сверхэкспрессией и конститутивный – для РНК-интерференции (Osterwalder et al., 2001).

Для получения экспериментальных особей производили скрещивание самок трансгенной линии с UAS-конструкцией (#36510, #34826, #24651, #27486, Bloomington *Drosophila* Stock Center, США), либо без UAS-конструкции (#36303) и самцов драйверных линий с GAL4 (#43642 – кондиционный, #458 – конститутивный). Полученные в результате скрещивания самцы и самки для кондиционной сверэкспрессии были помещены в пробирки со средой, содержащей 30 мкл индуктора кондиционного GAL4 мифепристона (RU486, Sigma, США) в концентрации 3.2 мг/мл. Контрольные особи были получены в результате такого же скрещивания, но содержались на среде без мифепристона. В случае с нокдауном изучаемых генов самцы и самки, полученные от скрещивания содержались на стандартной среде с добавлением эноксацина и без эноксацина.

Для изучения эффектов индуктора РНК-интерференции эноксацина в концентрациях 1, 5, 10, 50, 100, 500 мкг/мл наносили на поверхность питательной среды дрозофил. На среду контрольной группы животных наносили 30 мкл раствора NaOH. Данную обработку проводили для мушек линии дикого типа *Canton-S*, дрозофил с конститутивной РНК-интерференцией генов Dicer и без РНК-интерференции.

Сверхактивация генов *Dicer-1* и *Dicer-2* в нервной системе самок (но не самцов) оказывала геропротекторное действие и приводила к увеличению медианной (на 8-10 %, $p < 0.001$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и показателя максимальной продолжительности жизни, возраста 90% смертности (на 5-7 %, $p < 0.05$, метод Ванга-Аллисона). Ранее также было установлено, что повышенная активность *Dicer-2* в нервной системе и во всем теле дрозофил увеличивает продолжительность жизни (Wood et al., 2016).

Положительный эффект эноксацина на медианную продолжительность жизни наблюдался у самцов линии *Canton-S* при концентрации 50 мкг/мл на 2% ($p < 0.05$) и у самок при концентрации 10 мкг/мл на 5% ($p < 0.05$), однако при концентрации 1 мкг/мл у самок снижалась медианная продолжительность жизни на 2% ($p < 0.05$). Таким образом, у дрозофил геропротекторное действие эноксацин проявлял в концентрациях 10 и 50 мкг/мл, поэтому далее для работы мы использовали только их. Ранее положительное влияние эноксацина на продолжительности жизни уже было показано на *Caenorhabditis elegans* (Pinto et al., 2018).

Для того, чтобы проверить вклад активации *Dicer* в геропротекторный эффект эноксацина мы проверили, будет ли сохраняться данный эффект у мушек с РНК-интерференцией генов *Dicer-1* и *Dicer-2* в нервной системе.

В качестве контроля использовали самцов с драйвером elav, но без UAS-конструкции (то есть, без РНК-интерференции генов *Dicer*). У самцов с драйвером elav при концентрациях 10 и 50 мкг/мл наблюдалось увеличение медианной продолжительности жизни на 5% ($p < 0.0001$) и 2% ($p < 0.05$), соответственно, и максимальной продолжительности жизни на 4% ($p < 0.05$) при концентрации 10 мкг/мл. У самок эноксацин не приводил к статистически значимым изменениям продолжительности жизни. В то же время, данное действие эноксацина не сохранялось при нейрональной РНК-интерференции генов *Dicer-1* и *Dicer-2* как у самцов, так и у самок. Следовательно, активация *Dicer* является вероятным путем геропротектоного действия эноксацина.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 1021062211102-1-1.6.8.

Литература

1. Gioia U., Francia S., Cabrini M., Brambillasca S., et al. Pharmacological boost of DNA damage response and repair by enhanced biogenesis of DNA damage response RNAs // Sci Rep, 2019. V. 9. № 1. P. 6460.
2. Gomez–Cabello D., Adrados I., Gamarra D., Kobayashi H., et al. DGCR 8–mediated disruption of mi RNA biogenesis induces cellular senescence in primary fibroblasts // Aging cell, 2013. V. 12. №. 5. P. 923-931.
3. Kim V.N., Han J., Siomi M.C. Biogenesis of small RNAs in animals // Nat. Rev. Mol. Cell Biol., 2009. V. 10. P. 126-139.
4. Melo S.A., Villanueva A., Moutinho C., Davalos V., et al. Small molecule enoxacin is a cancer-specific growth inhibitor that acts by enhancing TAR RNA-binding protein 2-mediated microRNA processing // Proc Natl Acad Sci USA, 2011. V. 108. № 11. P. 4394-4399.
5. Mudhasani R., Zhu Z., Hutvagner G., Eischen C.M., et al. Loss of miRNA biogenesis induces p19Arf-p53 signaling and senescence in primary cells // J. Cell Biol., 2008. V. 181. № 7. P. 1055-1063.
6. Osterwalder T., Yoon K.S., White B.H., Keshishian H. A conditional tissue-specific transgene expression system using inducible GAL4 // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2001. V.98. № 22. P. 12596–12601.
7. Pinto S., Sato V.N., De-Souza E.A., Ferraz R.C., et al. Enoxacin extends lifespan of C. elegans by inhibiting miR-34-5p and promoting mitohormesis // Redox Biol, 2018. P. 84-92.
8. Proshkina E.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A. Genome-Protecting Compounds as Potential Geroprotectors // Int J Mol Sci, 2020. V. 21. № 12. P. 4484.
9. Wood J.G., Jones B.C., Jiang N., Chang C., et al. Chromatin-modifying genetic interventions suppress age-associated transposable element activation and extend life span in Drosophila // Proc. Natl. Acad. Sci. United States Am, 2016. V. 113. № 40. P. 11277-11282.

ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ ПОРФИРИНОВ И ПОРФИРИНАТОВ МЕДИ(II) И СЕРЕБРА(II) НА ИХ ОСНОВЕ НА МОДЕЛИ КЛЕТОК HELA

Расова Е.Е.[1], Велегжанинов И.О.[1], Рочева Т.К.[2], Худяева И.С.[2], Белых Д.В.[2]

[1] Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
[2] Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: elrasova@mail.ru

Нарушение окислительно-восстановительного баланса организма с избыточным образованием активных форм кислорода (АФК) опосредует развитие многих серьезных заболеваний человека (Solymosi, Mysliwa-Kurdziel, 2017; Forrester et al., 2018; Jakubczyk K. et al., 2020). В связи с этим целесообразным является поиск новых химических субстанций в качестве основы для создания лекарственных препаратов с антиоксидантным действием. Известно, что порфирины и их производные являются модуляторами окислительно-восстановительных процессов в живых системах (Tovmasyan et al., 2013; Solymosi et al., 2017; Белых и др. 2018). Ранее нами было показано, что Ag- и Cu-метилпирофеофорбиды а проявляли антиоксидантный эффект в культуре клеток HeLa с прооксидантом паракватом (данные не представлены). Целью данной работы был скрининг химически модифицированных природных порфиринов и порфиринатов меди (II) и серебра (II) на их основе на наличие антиоксидантных свойств в культуре клеток HeLa при воздействии на нее параквата.

Растворы исследуемых соединений в DMSO в концентрациях от 0.1 до 10 мкМ вносили в культуру клеток HeLa в питательной среде DMEM/F12 (5000 клеток в лунке планшета). Через один час инкубации в культуру клеток добавляли паракват в концентрации IC_{50}=45 мкМ. Через 72 ч. от начала эксперимента определяли индексы выживаемости клеток с помощью флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах (FMCA) на приборе ClarioSTAR (BMG, Германия). Отрицательным контролем являлись микрокультуры без добавления соединений и параквата; в положительный контроль вносили паракват без соединений. Анализ данных производили в программе MS Excel с применением критерия Граббса для устранения артефактов. Статистическую обработку данных проводили в программе Prism 8 с помощью однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным тестом Даннетта.

В данной работе представлены десять производных порфиринов, по которым на сегодняшний день удалось получить воспроизводимые результаты (рис. 1). Соединения 1, 2 и 3 показали отсутствие влияния на выживаемость клеток HeLa при воздействии на них параквата. Антиоксидантный эффект проявляли соединения 4 (при концентрации 1 мкМ), 5 (0.1 мкМ), 6 (0.1 мкМ), 7 (от 0.1 до 10 мкМ): выживаемость клеток возрастала относительно контроля с паракватом. Аддитивный эффект по отношению к параквату был отмечен для соединения 8 (снижение выживаемости клеток при увеличении концентрации соединения), в то время как соединения 9 и 10 проявляли неоднозначный эффект (повышение и понижение выживаемости клеток при разных концентрациях веществ).

Полученные результаты говорят о том, что прямое и функциональное взаимодействие данных соединений с паракватом в эксперименте *in vitro* неоднозначно, и характер эффекта (аддитивный или антагонистический) может определяться как структурой соединения, так и его концентрацией. На данном этапе нами не получено достаточных данных, позволяющих объяснить механизмы описанной выше биологической активности соединений. В то же время химически модифицированные природные порфирины и порфиринаты различных металлов являются перспективной группой соединений в поиске новых фармакологических методов лечения заболеваний, вызванных окислительным стрессом.

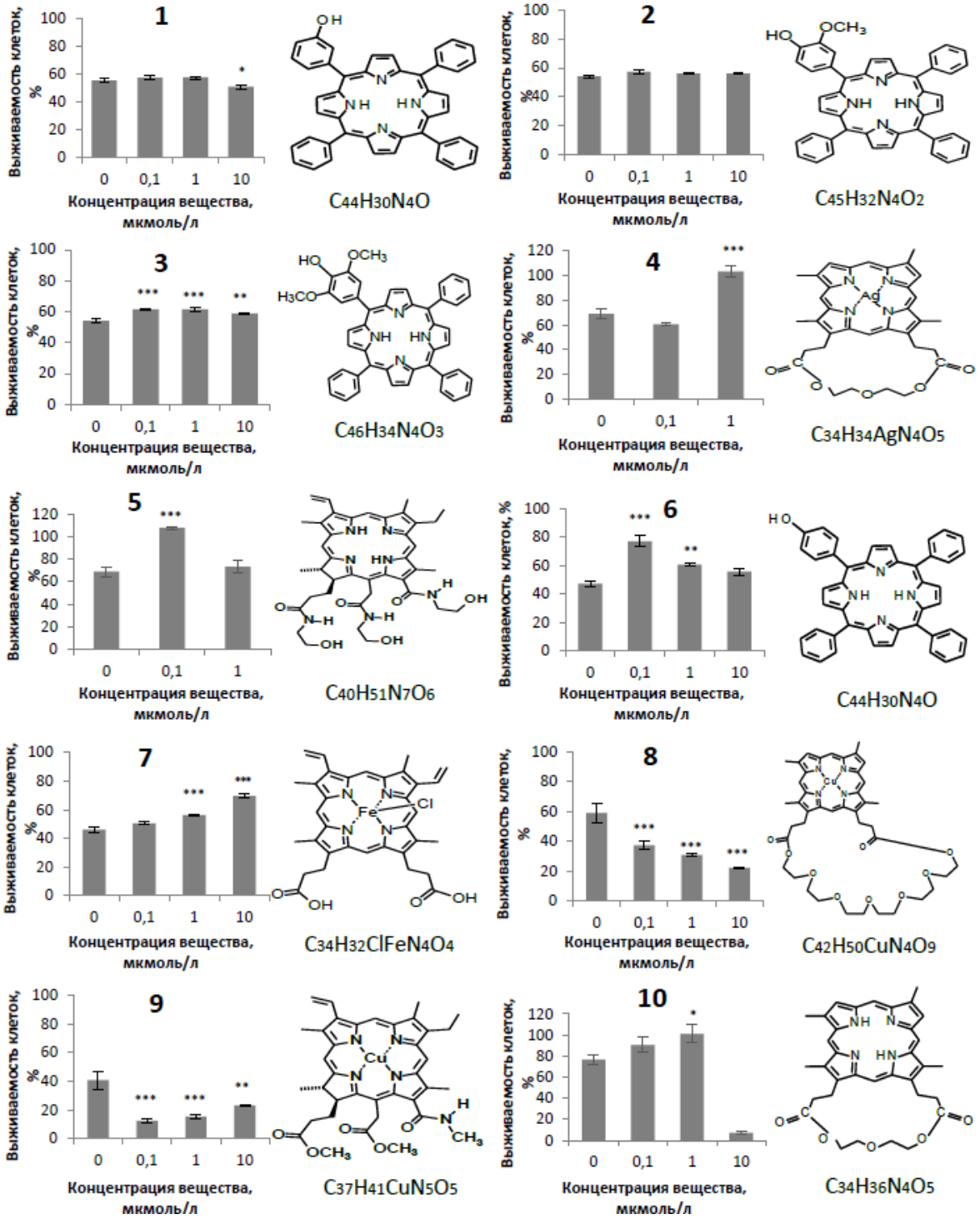


Рисунок 1. – Влияние производных порфиринов на выживаемость клеток HeLa при воздействии на них параквата. *, ** и *** - различия с положительным контролем достоверны при $p < 0.05$, 0.01 и 0.001 соответственно (тест Даннетта).

Литература

1. Белых Д.В., Рочева Т.К., Чукичева И.Ю. Порфирины как потенциальные физиологически активные регуляторы окислительно-восстановительных процессов в организме. – Сыктывкар: Институт химии Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с.
2. Forrester S.J., Kikuchi D.S., Hernandes M.S., Xu Q., Griendling K.K. Reactive oxygen species in metabolic and inflammatory signaling // Circ Res, 2018. 122. P. 877–902.
3. Jakubczyk K., Dec K., Kałduńska J., Kawczuga D., Kochman J., Janda K. Reactive Oxygen Species - Sources, Functions, Oxidative Damage // Pol Med J, 2020. 48 (284). P. 124–127.

4. Solymosi K., Mysliwa-Kurdziel B. Chlorophylls and their derivatives used in food industry and medicine // Mini Rev Med Chem, 2017. 17(13). P. 1194–1222.
5. Tovmasyan A., Sheng H., Weitner T., Arulpragasam A., Lu M., Warner D.S., Vujaskovic Z., Spasojevic I., Batinic-Haberle I. Design, mechanism of action, bioavailability and therapeutic effects of Mn porphyrin-based redox modulators // Med Princ. Pract, 2013. 22(2). P. 103–130.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ КЛЕТОК *EISENIA FETIDA* ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.В. Рыбак, Т.А. Майстренко

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: canewa.anuta@yandex.ru

Радиоактивное загрязнение почвы представляет огромную опасность для одной из ключевых групп почвенной биоты – дождевых червей, активно участвующих в почвообразовательном процессе и поддержании гомеостаза почвы. Благодаря тесному контакту с загрязненной средой эти организмы активно используют в качестве биоиндикаторов для оценки состояния окружающей среды, а также референтной группы при оценке радиационного риска для биоты.

В целомической жидкости дождевых червей содержатся целомоциты – иммунокомпетентные клетки, т.е. клетки, ответственные за иммунитет, гомеостаз и детоксикацию веществ. Среди них выделяют два основных класса – амебоциты и элеоциты, соотношение которых в целомической жидкости является видоспецифичным (Plytycz et al., 2006). Элеоциты, в отличие от амебоцитов, обладают высоким уровнем автофлуоресценции, главным образом, за счет рибофлавина. Количество целомоцитов и их состав могут изменяться в ответ на загрязнение почвы металлами, а содержание рибофлавина в них может служить биомаркером иммунного ответа при стрессе окружающей среды (Homa et al., 2010; Plytycz et al., 2011). В научной литературе практически нет работ по изучению дифференциации целомоцитов после радиационного воздействия, поэтому целью исследования являлся сравнительный анализ субпопуляционной структуры экструдированных клеток целомической жидкости *E. fetida* после хронического и острого радиационного воздействия.

Объект исследования – дождевые черви *E. fetida*, культивируемые в лаборатории в почвенном субстрате (pH 6.2, T = 25°C). Животных подвергали радиационному воздействию в разных режимах: 1) острое γ-облучение в дозе 10 Гр (установка «Исследователь», ^{137}Cs, P_{γ} = 0.75 Гр/мин); 2) хроническое воздействие почвенного субстрата, содержащего 100 и 70% (РП_100 и РП_70 соответственно) природной почвы с повышенными концентрациями тяжёлых естественных радионуклидов (ТЕРН): ^{238}U, ^{226}Ra и продуктов их распада (пос. Водный, Республика Коми). Накопленные дождевыми червями поглощенные дозы облучения при хроническом радиационном воздействии составили 1.8 и 1.2 Гр для вариантов РП_100 и РП_70 соответственно.

Выделение целомоцитов осуществили с использованием буфера следующего состава: 95% фосфатно-солевого буфера (PBS, pH 7.4), 5% этилового спирта 95%, 2.5 мг /мл ЭДТА. Затем проводили центрифугирование (500 g, 10 мин; 400 g, 7 мин) для отделения клеток от буфера с применением PBS. Автофлуоресценцию целомоцитов регистрировали методом проточной цитометрии на приборе CytoFLEX (Beckman Coulter, USA). В ходе эксперимента измеряли параметры распределения и интенсивность флуоресценции клеток для 10000 событий на образец, затем строили точечные диаграммы бокового (SSC) рассеяния и автофлуоресценции FITC (лазер – 488 нм, канал флуоресценции – 525/40 BP). Графики анализировали в программе CytExpert 2.4, используя методы выделения полигонов и квадрантов с последующим расчётом доли клеток в выбранной области. Выделенный полигон представляет собой субпопуляцию автофлуоресцентных элеоцитов (% АФ клеток), а процент клеток в каждом квадранте (нижний левый и правый, верхний левый и правый) – долю целомоцитов, включая амёбоциты, относительно общего количества проанализированных событий.

Проведены предварительные эксперименты с целью оценки возможности использования метода проточной цитометрии для биоиндикации и определения степени радиационного воздействия для почвенных беспозвоночных. С помощью проточно-цитометрического анализа показана тенденция к снижению % АФ клеток дождевых червей *E. fetida* как после хронического воздействия загрязнённой радионуклидами почвы, так и после острого воздействия дозе 10 Гр (табл. 1).

Доля автофлуоресцентных (АФ) клеток (%) *E. fetida* при разных радиационных режимах

Острое воздействие		Хроническое воздействие		
Контроль	10 Гр	Контроль	РП_70	РП_100
57 ± 10	48 ± 7	49 ± 21	46 ± 20	33 ± 25

Примечание: в таблице указано среднее арифметическое ± стандартное отклонение

При анализе результатов методом квадрантов, учитывающим изменение всех целомоцитов, показана выраженная дифференциация иммунокомпетентных клеток *E. fetida* после хронического радиационного воздействия, в особенности в варианте РП_100 (рис. 1).

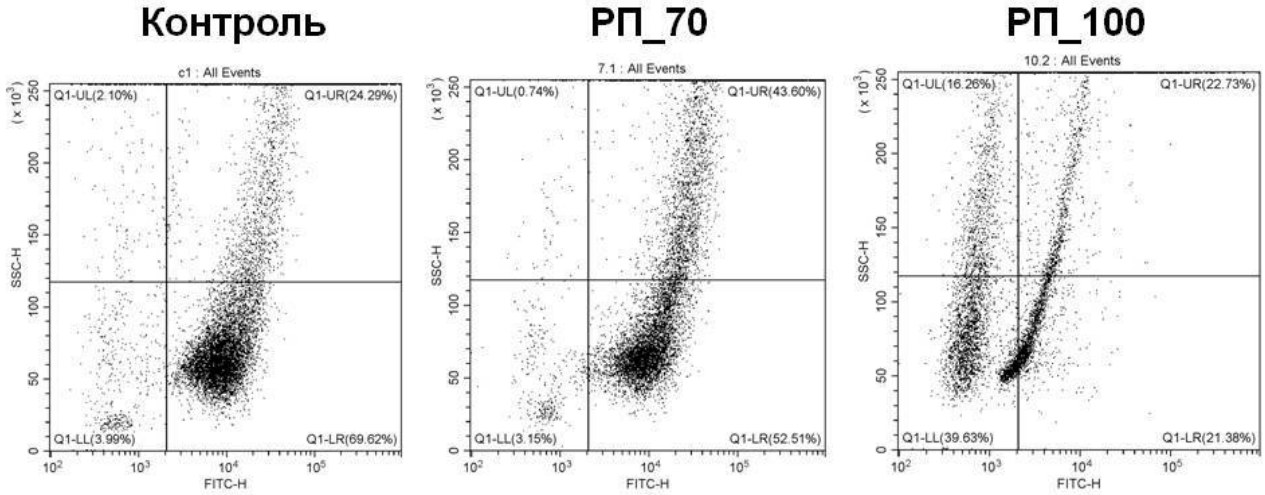


Рисунок 1 – Точечные графики проточной цитометрии целомоцитов *E. fetida* после хронического радиационного воздействия.

В целом отмечен повышенный уровень изменчивости показателей, оцененный по коэффициенту вариации (V), у дождевых червей *E. fetida* после хронического радиационного воздействия загрязнённой почвы в варианте РП_100 относительно контрольных особей: число целомоцитов ($V_{РП_100}$ = 105% и $V_{контроль}$ = 71%), % АФ клеток ($V_{РП_100}$ = 78%, $V_{РП_70}$ = 44% и $V_{контроль}$ = 43%). Эти результаты также могут свидетельствовать о повышенной чувствительности особей к радиационному воздействию.

Таким образом, для подтверждения выявленных в ходе предварительных экспериментов тенденций необходимо увеличить объем выборки и синхронизировать лабораторную культуру *E. fetida* для снижения вклада онтогенетических различий в биологический ответ. Анализ субпопуляционной структуры целомоцитов в совокупности с количественным определением содержания рибофлавина в элеоцитах для *E. fetida* может расширить комплекс регистрируемых показателей, дополнить традиционные методы для оценки состояния биологических систем.

Литература

1. Homa J. et al. Metal-specific effects on metallothionein gene induction and riboflavin content in coelomocytes of Allolobophora chloratica // Ecotoxicology and Environmental Safety, 2010. V.73. P. 1937–1943.
2. Plytycz B. et al. Riboflavin content in autofluorescent earthworm coelomocytes in species-specific // Folia Histochemica et cytobiologica, 2006. V. 44. P. 275–280.
3. Plytycz B. et al. Species-specific sensitivity of earthworm coelomocytes to dermal metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) exposures: Methodological approach // Pedobiologia, 2011. V. 54S. P. S203–S210.

АНАЛИЗ ВЫЖИВАЕМОСТИ *DROSOPHILA MELANOGASTER* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МИКРОЧАСТИЦ ПОЛИЭТЕЛЕНТЕРЕФТАЛА

А.Р. Сайфутдинова, В.В. Костенко

Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: aliya.sajfutdinova@list.ru

Микропластик (МП) – это маленькие частицы пластика размером меньше 5 мм. Они не растворяются в воде, а также не разлагаются в естественных природных условиях. МП не является отдельным видом пластмасс; мелкие частицы образуются в результате разрушения более крупных пластиковых предметов под действием ультрафиолетового излучения, ветра, воды и т.д. Это – «вторичный» или природный микропластик (Thompson, 2004; Cole, 2011). Помимо «вторичного» микропластика, существует «первичный» или промышленный микропластик. К этому типу относятся мелкие частицы, которые добавляются в средства гигиены и бытовую химию для придания вязкости, клейкости, эстетичности косметическим средствам. Согласно программе ООН по окружающей среде такие пластики, как полиэтилентрефталат, полиуретан, полипропилен, полиэтилен, полистирол и другие широко применяются в легкой промышленности (Cole, 2011). Со сточными водами или с несанционированных свалок микропластик попадает в воду и в почву, что приводит к масштабному загрязнению окружающей среды. Более того, из-за небольшого размера пластиковые частицы могут попадать в пищевые цепи, что представляет угрозу для живых организмов (Cole, 2011).

Воздействие МП с каждым годом вызывает озабоченность во всем мире из-за его непрерывного накопления в окружающей среде, глобального распространения и потенциальных рисков для здоровья живых организмов и сохранения целостности природных экосистем. На сегодняшний день имеются данные в отношении того, что МП может попадать в организм различных водных организмов, таких как рыбы, мидии и зоопланктон; МП также может попадать в организм личинок комаров и передаваться взрослым особям. Также при изучении поденок и ручейников в реках южного Уэльса было показано, что концентрация МП в насекомых составляла 0.14 $мг^{-1}$/сухой вес ткани. Также в недавних исследованиях на дождевых червях *Eisenia fetida* среди эффектов микропластика из полиэтилена были продемонстрированы его способности вызывать окислительный стресс в организмах червей и существенные повреждения тканей (Chen, 2020). Следовательно, частицы МП могут распространяться через летающих насекомых, заражая новую среду и угрожая другим организмам.

Поэтому целью данной работы было оценить влияние микрочастиц полиэтелентерефталата (ПЭТ), широко используемого термопластика в изготовлении одноразовой посуды, бутылей, химических волокон для производства одежды и техники, а в последнее время применяемого и в декоративной косметике, на выживаемость *Drosophila melanogaster*.

В работе использовали линию дикого типа *Canton-S D. melanogaster*. В исследовании использовались микрочастицы полиэтилентерефталата размером 0.1 мм. Дрозофил культивировали на стандартной сахарно-дрожжевой среде в термостате при температуре 25°С и световом режиме 12/12. Микропластик вносился в питательную среду в концентрациях 0.0002 г/мл (C_1), 0.001 г/мл (C_2), 0.002 г/мл (C_3), 0.004 г/мл (С4), 0.005 г/мл (C_5), 0.01 г/мл (C_6), 0.02 г/мл (C_7), 0.03 г/мл (C_8), 0.04 г/мл (C_9), 0.06 г/мл (C_{10}). Контрольная группа *Drosophila melanogaster* была выращена на стандартной сахарно-дрожжевой среде без добавления микропластика. Выживаемость оценивали с помощью анализа параметров приспособленности: плодовитость, жизнеспособность имаго и гибель особей на стадии метаморфоза Показатели реальной плодовитости и жизнеспособности определяли как количество потомков от двух пар мух, содержащейся в пробирке первые 7 суток, на стадии куколки и стадии имаго соответственно. Учет потомства велся от 20 пар для каждой концентрации от 0.0002 г/мл до 0.06 г/мл. Параллельно учитывали количество особей, погибших на стадии куколки. Полученные результаты были обработаны с использованием теста ANOVA в программе GraphPad Prism 6.0.

Влияние частиц полиэтилентерефталата оценивали по гибели особей на стадии метаморфоза (ГМС). Полученные данные демонстрируют, что при концентрациях микропластика 0.0002 г/мл, 0.002 г/мл и 0.01 г/мл статистически значимо увеличивается показатель гибели на стадии метаморфоза ($p < 0.05$, $t = 3.5$; $p<0.05$, $t =3.3$; $p < 0.03$, $t = 2.3$). Однако, при сравнении группы мух, выращенных на питательной среде с добавлением 0.001 г/мл полиэтилентерефталата, с контролем не было обнаружено статистически значимых отличий в показателе ГСМ ($p > 0.05$).

Показатель плодовитости рассчитывался как количество всех куколок в каждой экспериментальной группе мух. В результате было обнаружено, что статистически значимые различия по признаку плодовитость есть при сравнении контроля с концентрациями 0.001 г/мл, 0.002 г/мл и 0.1 г/мл ($p < 0.0001$, $t = 5.9$; $p < 0.0001$, $t = 4.1$; $p < 0.05$, $t = 2.1$). При сравнении контроля с экспериментальной группой с самой маленькой концентрацией 0.0002 г/мл не было обнаружено статистически значимых различий ($p > 0.05$).

В ходе изучения влияния МП на жизнеспособность было показано, что статистически значимые различия наблюдаются только между контрольной группой и экспериментальной группой с концентрацией 0.001 г/мл ($p < 0.01$, $t = 4.0$). При сравнении других трех групп (0.0002 г/мл, 0.002 г/мл и 0.01 г/мл) с контролем не было обнаружено достоверных различий ($p > 0.05$).

В результате исследования токсичного действия МП в концентрациях 0.002 – 0.06 г/мл на выживаемость дрозофил нами было отмечено появление мух с фенотипическими морфозами, которые проявлялись как: некротические районы на крыловой пластике, нарушение сегментации тела, изменение числа фасеток.

Таким образом, наблюдалось достоверное негативное влияние полиэтилентерефталата в концентрациях 0.005 – 0.06 г/мл на основные адаптивные признаки дрозофилы.

Литература

1. Thompson R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., et al. Lost at sea: where is all the plastic? // Science, 2004. Vol. 304. P. 838-838.
2. Cole M., Lideque P., Halsband C., Galloway T.S. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review //Marine pollution bulletin, 2011. Vol. 62. № 12. P. 2588-2597.
3. Chen Y., Liu X., Leng Y., Wang J. Defense responses in earthworms (Eisenia fetida) exposed to low-density polyethylene microplastics in soils // Ecotoxicology and environmental safety, 2020. Vol. 187. P. 109788.

БРИОФИТЫ КАК НОВЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИИ ТЕЛОМЕР РАСТЕНИЙ

А.В. Санникова[1], М.Р. Шарипова[1], Е.В. Шакиров[1,2] , Л.Р. Валеева[1]

[1]Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия
[2]Marshall University, Huntington, West Virginia, USA
E-mail: anastasya.sannikova@bk.ru

Теломеры представляют собой нуклео-протеиновые комплексы, составляющие концевые участки линейных хромосом эукариот. Теломеры сохраняют целостность генома, обеспечивая полную репликацию уникальной последовательности и защиту от сквозных слияний хромосом, а также действия экзонуклеаз. Структура теломер консервативна и сохраняется во всех эукариотах, однако в то же самое время существует естественная вариабельность состава теломерной нуклеотидной последовательности, что указывает на различия в регуляторных механизмах поддержания теломер у разных организмов. Интерес представляют эволюционные изменения в составе теломер и регуляции их длины и стабильности у представителей разных таксонов, изучение которых позволяет расширить фундаментальные знания о строении и функциях данных структур.

В царстве растений одной из перспективных групп в плане исследований молекулярно-генетических аспектов эволюции развития растений являются бриофиты, что связано с их принадлежностью к одной из наиболее древних существующих групп наземных растений. Бриофиты представляют собой группу растений, в которую входят три самостоятельных отдела: печеночники (*Marchantiophyta*), мхи (*Bryophyta*) и антоцеротовые мхи (*Anthocerotophyta*). Бриофиты обладают рядом преимуществ, которые, которые делают их удобными модельными организмами для изучения сложных биологических процессов в растениях. Так, они отличаются быстрой регенерацией, простотой культивирования в лабораторных условиях, внутри и межвидовой изменчивостью в ответ на воздействие окружающей среды. Важная особенность бриофитов – это медленная эволюция их геномов по сравнению с цветковыми растениями, что обусловлено одной из основных отличительных характеристик их жизненного цикла, в котором является преобладание гаплоидного гаметофита над диплоидным спорофитом. Кроме того, геномы таких представителей бриофитов, как *Physcomitrium patens*, *Marchantia polymorpha*, *Anthoceros agrestis*, *Ceratodon purpureus*, секвенированы, имеют сравнительно небольшие размеры и неизбыточны. Таким образом, изучение биологии теломер у бриофитов открывает перспективы в понимании эволюции регуляторных механизмов, лежащих как в основе структурной стабильности и функционирования теломер, так и развития, и старения растений в целом.

Целью работы было определение естественной вариабельности длины теломер у представителей Бриофитов различных экотипов мхов *Physcomitrella patens*, *Ceratodon purpureus* и мхов рода *Sphagnum*. В работе были использованы аксеничные культуры мха *P. patens* четырех экотипов (Gransden, Reute, Villersexel, Kaskaskia), мха *C. purpureus* (мужское R40 и женское растение GG1), а также природные изоляты сфагнума *S. fallax* MW и *S. girgensohnii*. Для анализа длины теломер использовали ДНК, выделенную из тканей 14-дневной протонемы *P. patens* и *C. purpureus*, и гаметофоры сфагнума. Протонему получали из гомогенизированных тканей мха. Анализ длины теломер проводили методом TRF (Terminal Restriction Fragment analysis, рестрикционный анализ терминальных фрагментов) совместно с Саузерн-блот анализом (Nigmatullina, 2016). Нами было показано, что разные экотипы растений *P. patens* имеют различную длину теломер в диапазоне от 1000 до 1500 п.о., что в 1.5-3 раза короче по сравнению с теломерами модельного покрытосемянного растения *A. thaliana*, длина теломер которого в среднем составляет от 2500 до 4500 п.о. (Shakirov, 2004). Длина теломер в женском растении *C. purpureus* в среднем составляет 480-500 п.о., в мужском 900-1000 п.о. Кроме того, показано,

что у мужской линии *C. purpureus* в отличие от женской также имеется теломерная ДНК длиной 2500 п.о., которая может являться внутрихромосомной теломерной ДНК. Длина теломер у *S. fallax* MW и *S. girgensohnii* в среднем составляет ~2000 п.о.

Таким образом, мы провели анализ естественной вариабельности длин теломер у различных представителей группы бриофитов и установили, что длина теломер в данной группе растений может различаться внутри одного вида и между видами. Также, мы показали, что длина теломер у разных представителей бриофитов короче, чем у модельного покрытосемянного растения *A. thaliana*. Дальнейшие исследования позволят получить новые данные об эволюции теломер бриофитов и растений в целом.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №21-14-00147.

Литература

1. Nigmatullina, L.R., Sharipova M.R., Shakirov E.V. Non-Radioactive TRF Assay Modifications to Improve Telomeric DNA Detection Efficiency in Plants // BioNanoScience, 2016. V6. P.3-5.
2. Shakirov, E.V., Shippen, D.E. Length regulation and dynamics of individual telomere tracts in wild-type Arabidopsis // Plant Cell, 2004. V.8. P.1959–1967.

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ШАМПУНЯ «БЕЗ ПАРАБЕНОВ. ПРОТЕИНЫ ПШЕНИЦЫ» МАРКИ ЧИСТАЯ ЛИНИЯ НА КРЕСС-САЛАТ (*LEPIDIUM SATIVUM* L.) СОРТА ДАНСКИЙ

В.С. Симакова

КОГПОБУ ВятКТУиС
E-mail: vasilina.simakova.1989@mail.ru

В настоящее время гигиеническая продукция может являться как экологически безопасной, так и экологически небезопасной или даже опасной. Поэтому, для изучения токсичности действия СПАВ, используют биологические методы, а именно, метод фитотестирования, так как он является экономичным и обладает высокой чувствительностью.

Поэтому, цель данной работы – изучение влияния возрастающих концентраций шампуня «Без парабенов. Протеины пшеницы» марки Чистая линия на энергию прорастания и морфометрические показатели кресс–салата (*Lepidium sativum* L.*)* сорта «Данский» и возможность использования ее в качестве тест-организма для определения степени токсичности косметического средства.

В стерильные чашки Петри помещали фильтровальную бумагу, предварительно смоченную дистиллированной водой, и раскладывали по 50 семян. Повторность опыта трехкратная. Экспозиция опыта 3 суток в темноте при температуре +22–24 °С. В опытных вариантах вносили шампунь «Без парабенов. Протеины пшеницы» марки Чистая линиям, произведенный ООО «Юнилевер Русь» (РФ, Московская область, г. Москва). В контрольном варианте использовали дистиллированную воду без добавления шампуня, а в опытных – разбавления, рекомендуемые для практического использования (1 мл шампуня : 1 мл воды (1 р. д.). В опыте использованы следующие р. д.: 0.25; 0.5; 1 и 2. Во всех вариантах в течение срока экспозиции влажность в чашках Петри поддерживали на уровне 60% от полной влагоёмкости.

В качестве тест-объекта использовали семена кресс–салата (*Lepidium sativum* L.) сорта «Данский», которые характеризуются быстрым ростом и развитием. Определение энергии роста семян и морфологических параметров проростков кресс–салата (*Lepidium sativum* L.) сорта «Данский» осуществлялось по ГОСТ 12038-84 и стандартной методике.

Перед закладкой семена проходили калибровку: с повреждениями, сколами, плесенью, недозревшие убирали. Для оценки действия тестируемых косметических рассчитали процент ингибирования тест-отклика растений. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программ Excel.

В наших предыдущих исследованиях было установлено, что из 6 шампуней марки Чистая линия для семян кресс-салата более токсичным являлся шампунь «Без парабенов. Протеины пшеницы», где гибель семян составила 81 %, поэтому, для дальнейшего изучения был выбран этот шампунь.

Сравнительный анализ между средними показателями при определении энергии прорастания семян кресс-салата в контрольном и опытных вариантах с добавлением шампуня показал следующее (табл. 1).

С увеличением концентрации шампуня увеличивался угнетающий эффект на энергию прорастания кресс–салата. Так, по сравнению с контролем, в варианте с концентрацией 2.0 р. д., в шампуне наблюдалось максимальное количество пораженных растений (48 штук) и минимальная энергия роста (5 %), а минимальное количество пораженных растений и максимальная энергия роста – при концентрации 0.25 р. д.

Возрастающие концентрации шампуня привели к изменению длины корня и надземной части проростка кресс-салата (табл. 2).

Так, наибольшая длина корней и высота проростков наблюдалась в контрольном варианте, а с увеличением расчетной дозы шампуня – уменьшалась. Максимальный коэффициент

Таблица 1

Влияние возрастающих концентраций шампуня «Без парабенов. Протеины пшеницы» марки Чистая линия на энергию прорастания кресс-салата, %

Признак	Контроль	0.25 р. д.	0.5 р. д.	1.0 р. д.	2.0 р. д.
Энергия прорастания, %	90±3	74±5	36±7	19±1	5±1
Количество пораженных растений, шт.	5±1	13±3	32±5	41±6	48±6
Количество пораженных растений, %	10±1	26±5	64±6	81±7	95±8

Таблица 2

Влияние шампуня «Без парабенов. Протеины пшеницы» марки Чистая линия на морфометрические показатели кресс-салата

Признак	Контроль	0.25 р. д.	0.5 р. д.	1.0 р. д.	2.0 р. д.
Длина корней, см	3.04±0.89	2.35±0.15	1.03±0.09	0.51±0.09	0.20±0.02
Высота проростков, см	3.51±0.19	2.86±0.09	1.98±0.10	1.01±0.08	0.58±0.05

корреляции составил 0.99. По полученным результатам был рассчитан процент ингибирования растений *Lepidium sativum* L. (табл. 3).

Таблица 2

Процент ингибирования Lepidium sativum L., %

Признак	0.25 р. д.	0.5 р. д.	1.0 р. д.	2.0 р. д.
Длина корней	22.7	66.1	83.2	94.1
Надземная часть проростков	18.5	43.6	71.2	83.5

При увеличении расчетной дозы шампуня «Без парабенов. Протеины пшеницы» процент ингибирования увеличивался. Так, при 0.25 р. д. процент ингибирования длины корней 22.7 % и надземной части проростков – 18.5%, а при 2.0 р. д. – 94.1 и 83.5%, соответственно (коэффициент корреляции – 0.98).

Отсюда, ингибирующее действие на развитие проростков кресс-салата оказала в контроле, а в остальных вариантах – слабое стимулирующее действие развития корней. Увеличение расчетной дозы исследуемого косметического средства отрицательно влияет на рост и развитие высших растений. Доказанная нами токсичность косметического средства требует проведения дополнительных исследований, которые бы показывали, что произойдет с другими тест-объектами при дальнейшем увеличении концентрации косметических средств.

Литература

1. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями № 1, 2, с Поправкой). М.: «Стандартинформ», 2011. 64 с.
2. ГОСТ 31696-2012 Продукция косметика гигиеническая моющая. Общие технические условия (с поправкой). М.: «Стандартинформ», 2014. 10 с.
3. ГОСТ Р 52501-2005 Вода для лабораторного анализа. Технические условия. М.: «Стандартинформ», 2006. 11 с.
4. Методика выполнения всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв М-П-2006. Федеральный реестр ФР.1.39.2006.02264. СПб.: «Фора-принт», 2009. 19 с.

ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, НА УСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* К γ-ОБЛУЧЕНИЮ

Н.С. Уляшева, Е.Н. Прошкина, М.В. Шапошников, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: ulyasheva-1309@yandex.ru

На протяжении всей жизни организмы подвергаются генотоксическим воздействиям. Одним из примеров является ионизирующее изучение (ИИ). ИИ вызывает повреждения ДНК, образование промежуточных продуктов репарации, мутации, провоцирует выработку свободных радикалов (Vaiserman et al., 2004; Vaisnav et al., 2014). Кроме того, воздействие на организм радиации способствует нестабильности генома и эпигенетическим изменениям (Poetsch, 2020). На уровне организма накапливающиеся повреждения и нарушения работы генома приводят к резкому ухудшению состояния здоровья, истощению физиологических функций, преждевременно гибели организма. Поэтому поиск средств, влияющих на радиоустойчивость организма, является актуальной задачей радиобиологии и медицины (Cortese t al., 2018; Aliper et al, 2020).

Целью данной работы является изучение влияния эноксацина, ретиноевой кислоты, KN-93 и UNC-0646 на устойчивость *Drosophila melanogaster* к γ-облучению. Выбранные нами фармакологические соединения эноксацин, KN-93 и UNC-0646 являются селективными препаратами, нацеленными на конкретные мишени в клетке; связаны с ответом на повреждение ДНК; не идентифицированы как вещества, вызывающие повреждение ДНК.

Данные соединения влияют на ответ на повреждение ДНК и репарацию ДНК преимущественно через эпигенетические механизмы. Так, эноксацин участвует в регуляции биогенеза и функционирования микроРНК (в том числе, ингибирует *miR-34a*), связанных с ответом на повреждение ДНК. Соединение KN-93 является синтетическим ингибитором CaMK-II (Tombes et al., 1995) и влияет на активность регуляторов клеточного цикла. Мощным селективным ингибитором метилтрансферазы G9a (Gu et al., 2019) является соединение UNC-0646. Механизм его действия включает изменение метилирования гистонов, участвующих в регуляции активности генов, отвечающих за ответ на повреждение ДНК, и рекрутированию белков репарации ДНК к поврежденным участкам.

В качестве генотоксического воздействия использовали γ-облучение в дозах 120 Гр и 800 Гр. Доза 120 Гр была выбрана как десятикратно-уменьшенная доза пятидесятипроцентной летальности (LD50); доза 800 Гр была выбрана потому, что она значительно снижает выживаемость без острого летального эффекта.

В настоящей работе мы оценивали выживаемость мух *Drosophila melanogaster* после острого облучения (120 Гр и 800 Гр), и предварительной обработкой питательной среды веществами, регулирующие эпигенетические процессы в течение 15 дней. Результаты исследования показали, что ретиноевая кислота и эноксацин не приводили к статистически значимым изменениям выживаемости самцов и самок после острого γ-облучения в дозе 120 Гр. Обработка соединениями KN-93 и UNC-0646 в сочетании с такой же дозой облучения снизили медианную выживаемость на 3.9 % ($p < 0.001$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и показатель максимальной выживаемости возраста 90 % смертности на 3.4-5.1% ($p < 0.001$, критерий Ванг-Аллисона). Сочетание изучаемых веществ и γ-облучения в дозе 800 Гр приводило к снижению медианной и максимальной выживаемости самцов и самок на 15.4-26.9 % ($p <0.0001$). Наибольший отрицательный эффект отмечался у самцов при обработке UNC-0646.

В ранее проведенных исследованиях предварительная обработка изучаемыми нами фармакологическими соединениями продлевала продолжительность жизни мух за счет повышения устойчивости к окислительному стрессу (Bo et al., 2018; Gioia et al., 2019; Pinto et al., 2018). Согласно полученным данным все четыре вещества не стимулировали устойчивость к генотоксическому воздействию, а, напротив, обладали сенсибилизирующем действием.

В литературе описано сенсибилизирующее действие эноксацина на устойчивость к ультрафиолетовому облучению у раковых клеток. Сочетание эноксацина и мягкого ультрафиолетового облучения А индуцировало апоптоз клеток рака поджелудочной железы AsPC1 через генерацию активных форм кислорода (Nish et al., 2017). С другой стороны, в исследовании на модели *Caenorhabditis elegans* эноксацин повысил устойчивость особей к окислительному стрессу посредством регуляции сигнального пути Nrf2A (Pinto et al., 2018).

Ранее было показано, что ретиноевая кислота с облучением также повышала чувствительность опухолевых клеток к обработке (Santin et al., 1998). Однако аддитивный эффект был связан с экспрессией иммунологически важных поверхностных антигенов в клетках рака шейки матки человека (Santin et al., 1998). То есть, данный механизм не применим к нашим результатам. Также есть исследования, где ретиноевую кислоту использовали на фибробластах и на коже человека, где она ингибировала индукцию c-Jun и AP-1. В этой же работе обработка ретиноевой кислотой защищала кожу человека от УФ-индуцированной потери транскриптов и белков проколлагена типа I и типа III (Fisher et al., 2000).

В ранее проведенных исследованиях сообщалось, что соединение KN-93 ослабляло изменение формы митохондрий после облучения через регуляцию CaMKII (Bo T. et al., 2018).

В нашем случае требуется дополнительное изучение механизмов сенсибилизирующего действия изучаемых веществ на радиоустойчивость целого организма. Возможно, наблюдаемый эффект связан с периодом употребления фармакологических соединений и выбранными нами дозами, и режимами облучения.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 1021062211102-1-1.6.8.

Литература

1. Bo T., Yamamori T., Suzuki M., Sakai Y., Yamamoto K., Inanami O. Calmodulin-dependent protein kinase II (CaMKII) mediates radiation-induced mitochondrial fission by regulating the phosphorylation of dynamin-related protein 1 (Drp1) at serine 616 // Biochemical and Biophysical Research Communications., 2018. V. 495. № 2. P. 1601−1607.
2. Fisher G.J., Datta S., Wang Z., Li X.Y., et al. c-Jun-dependent inhibition of cutaneous procollagen transcription following ultraviolet irradiation is reversed by all-trans retinoic acid // J Clin Invest., 2000. V. 106. № 5. P. 663−670.
3. Gioia U., Francia S., Cabrini M., Brambillasca S., et al. Pharmacological boost of DNA damage response and repair by enhanced biogenesis of DNA damage response RNAs // Scientific reports, 2019. V. 9. № 1. P. 6460.
4. Nishi K., Kato M., Sakurai S., Matsumoto A., Iwase Y., Yumita N. Enoxacin with UVA Irradiation Induces Apoptosis in the AsPC1 Human Pancreatic Cancer Cell Line Through ROS Generation // Anticancer Res., 2017. V. 37. № 11. P. 6211− 6214.
5. Pinto S., Sato V.N., De-Souza E.A., Ferraz R.C., et al. Enoxacin extends lifespan of C. elegans by inhibiting miR-34-5p and promoting mitohormesis // Redox Biol., 2018. V. 18. P. 84−92.
6. Poetsch A.R. The genomics of oxidative DNA damage, repair, and resulting mutagenesis // Comput Struct Biotechnol J., 2020. V. 18. P. 207−219.
7. Santin A.D., Hermonat P.L., Ravaggi A., Chiriva-Internati M., et al. Effects of retinoic acid combined with irradiation on the expression of major histocompatibility complex molecules and adhesion/costimulation molecules ICAM-1 in human cervical cancer // Gynecol Oncol., 1998. V. 70. № 2. P. 195−201.
8. Vaiserman A.M., Koshel N.M., Voitenko V.P. Cross-life stage and cross-generational effects of γ irradiations at the egg stage on Drosophila melanogaster life histories // Biogerontology., 2004. V. 5. P. 327−337.
9. Vaisnav M., Xing C., Ku H.C., Hwang D., et al. Genome-Wide Association Analysis of Radiation Resistance in Drosophila melanogaster // PLoS One., 2014. V. 9. № 8.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В КЛЕТКАХ КОСТНОГО МОЗГА МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ, ОБИТАЮЩИХ НА УЧАСТКАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К.М. Фабушева, О.С. Аксёненко, С.В. Гончаров

ГНУ «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь
E-mail: expmodels@irb.basnet.by

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории оказались в зоне длительного воздействия радиации с низкой мощностью дозы. Популяции мышевидных грызунов данных районов в течении нескольких десятилетий подвергались комплексному внешнему и внутреннему облучению. Подобные формирования качественно новых субпопуляций мышевидных грызунов, которые длительное время существовали в разных радиоэкологических условиях, уже отмечались в исследованиях субпопуляций *Microtus oeconomus Pall.*, обитающих на участках с повышенным радиационным фоном в Республике Коми (Kudyasheva, 2007).

Одним из способов, позволяющих прогнозировать изменения в популяциях мышевидных грызунов и оценивать генетические эффекты загрязнителей среды, является метод ДНК-комет. Это высокочувствительный метод с возможностью детекции повреждений на уровне единичных клеток. Наиболее широко используется щелочной вариант метода ДНК-комет, который позволяет дать оценку уровня однонитевых разрывов и щелочелабильных сайтов (Neri, 2015).

Выявление различий в уровне цитогенетических эффектов в организме *Apodemus agrarius* (мышь полевая) и *Apodemus flavicollis* (мышь желтогорлая) позволит дать более полную оценку влияния хронического низкодозового ионизирующего излучения.

Целью работы было оценить уровень повреждения ДНК в клетках мышевидных грызунов, обитающих на участках с нормальным и повышенным радиационным фоном.

Объектом исследований являлись *A. agrarius* и *A. flavicollis*, отловленные на участках с нормальным (Гомельская область, контрольные участки) и повышенным радиационным фоном (участки в зоне Полесского государственного радиационно-экологического заповедника – бывшие населенные пункты (бнп) Масаны и Радин). Участки выбирали по принципу схожести биотопов, но отличающихся радиационной обстановкой.

Радиационный фон в Гомельской области, где были отловлены исследуемые объекты, составил 0.09 мкЗв/час. В Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике было выбрано два участка для отлова мышевидных грызунов: бывший населенный пункт Масаны – радиационный фон 2.3 мкЗв/час и бывший населенный пункт Радин – 2.9 мкЗв/час.

Отловленных животных подвергали эвтаназии, проводили отбор клеток костного мозга с бедренных костей путем вымывания. Приготовление цитологических препаратов для анализа ДНК-комет проводили стандартным способом. Визуализацию и регистрацию ДНК-комет осуществляли с помощью сканирующего флуоресцентного микроскопа, оснащенного цифровой фотокамерой. Полученные изображения ДНК-комет анализировали с использованием программного обеспечения CometScore. В качестве показателя поврежденности ДНК использовали процентное содержание ДНК в хвосте ДНК-комет (% ДНК в хвосте). Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета программ Statistics 7.0.

При исследовании уровня повреждения ДНК клеток костного мозга особей *A. agrarius* и *A. flavicollis* были отмечены различия в уровне процентного содержания ДНК в хвосте ДНК-комет, что характеризует уровень одноцепочечных разрывов в клетках.

В клетках костного мозга *A. flavicollis*, обитающих на контрольных участках, уровень повреждения ДНК составил 7.50%±1.68, что является более высоким показателем по сравнению с *A. agrarius*, обитающей на тех же участках (5.40% ±1.85). Подобные результаты отмечены для данных видов мышевидных грызунов, обитающих на участках с повышенным радиационным фоном. У *A. flavicollis*, отловленной на участке бнп Масаны, процентное содержание в

хвосте ДНК-комет составило 10.48%±4.03, в то время как у *A. agrarius* – 8.61%±2.66. Уровень повреждения ДНК клетках костного мозга *A. flavicollis*, обитающей на участке бнп Радин составил 10.09% ±3.84, у мыши полевой – 8.94% ±0.65.

Для обоих видов мышевидных грызунов *A. agrarius* и *A. flavicollis*, обитающих на участках с повышенным радиационным фоном, отмечено увеличение уровня повреждения ДНК практически на 30% по сравнению с данным показателем у мышевидных грызунов, обитающих на контрольных участках Гомельской области.

Полученные данные показывают, что уровень повреждения ДНК клеток костного мозга мышевидных грызунов различается в зависимости как от вида, так и от уровня радиационного загрязнения мест их обитания. Предположительно, процессом адаптации к хроническому воздействию радиации с низкой мощностью дозы стал переход клеточных систем регуляции на отличный от нормы уровень функционирования в соответствии с резистентностью исследуемых видов и изменчивостью генотипа популяций (Шишкина, 2021).

Литература

1. Шишкина Л.Н., Кудяшева А.Г., Башлыкова Л.А. Динамика состояния популяций мышевидных грызунов в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС. Обнинск, 2021. С.151-154.
2. Kudyasheva A.G., Shishkina L.N., Shevchenko O.G., Bashlykova L.A., Zagorskaya N.G. Biological consequences of increased radiation background for Microtus oeconomus Pall. populations // J. Environ. Radioactivity, 2007. Vol. 97. P. 30-41.
3. Neri M. Worldwide interest in the comet assay: a bibliometric study // Mutagenesis, 2015. Vol. 30. №1. P. 155-163.

ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА В-КАРИОФИЛЛЕНА НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.В. Яковлева[1,2], М.В. Шапошников[1,2], А.А. Москалев[1]

[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: dashka-konst@yandex.ru

Старение — это возраст-зависимый патологический процесс, который приводит к дисфункции органов, снижению когнитивных функций и слабости. Плодовая муха *Drosophila melanogaster* является подходящей модельной системой для изучения старения или возрастных заболеваний из-за ее короткой продолжительности жизни, большого количества потомства и легкости содержания. Кроме того, некоторые механизмы, ответственные за возрастное функциональное снижение, включая окислительное повреждение и гены, ассоциированные с наследственными заболеваниями, высоко консервативны у мух и людей.

Геропротекторы – это фармакологические агенты, снижающие скорость старения и увеличивающие продолжительность жизни (Kudryavtseva et al., 2016). К потенциальным геропротекторам относится обширная группа вторичных метаболитов растений – терпеноиды. Экспериментальные исследования выявили широкий спектр фармакологической и физиологической активности терпеноидов и их производных (Proshkina et al., 2020).

Бета-кариофиллен представляет собой природный бициклический сесквитерпен и является пищевой добавкой, которая содержится в качестве активного ингредиента в эфирных маслах многих съедобных растений (черный перец, гвоздика, розмарин, хмель, тмин, орегано, базилик, лаванда, корица и многих других видах растений). Он обладает широким спектром биологической активности, включая антиоксидантное, противовоспалительное, противораковое и местноанестезирующее действие (Pant et al., 2014). Более ранние исследования показывают, что бета-кариофиллен может служить компонентом функционального питания и пищевой добавкой благодаря своему антиоксидантному действию (Calleja et al., 2013). Его геропротекторные свойства недостаточно изучены, поэтому мы проводим экспериментальную оценку эффектов бета-карифиллена на показатели жизнеспособности *Drosophila melanogaster*. Целью настоящего исследования было изучить потенциальные геропротекторные свойства и механизмы действия β-кариофиллена на модели *Drosophila melanogaster*.

В качестве экспериментальной линии использовали линию дикого типа *Canton-S* (Блумингтон, США). Мух содержали при постоянных условиях в климатической камере (Binder, Германия) с температурой 25 °C, с 12-ти часовым циклом освещения и 60 % влажностью, на стандартной питательной среде. Обработку веществом проводили на протяжении всей жизни имаго. Поверхность питательной среды смазывали дрожжевой пастой с добавлением растворенного в этаноле вещества в концентрациях 25 мкмоль/л, 50 мкмоль/л и 100 мкмоль/л. Контрольных мух содержали на дрожжевой пасте с добавлением этанола. Питательную среду меняли на свежую два раза в неделю.

Оценивали влияние бета-кариофиллена на медианную и максимальную (возраст смертности 90 % выборки) продолжительность жизни. Для оценки статистической значимости отличий по медианной продолжительности жизни использовали логранговый критерий (Mantel, 1966), по максимальной – критерий Фишера. Анализ статистических данных выполняли с помощью статистической среды R и онлайн приложения для анализа выживаемости OASIS 2.

Для определения эффектов бета-кариофиллена на стрессоустойчивость мух подвергали 2 видам неблагоприятных воздействий: окислительному стрессу и гипертермии. Анализы проводились с помощью мониторов двигательной активности (TriKinetics, США). При окислительном стрессе в стандартную среду (2% агара, 5% сахара) добавляли паракват в концентрации 20 ммоль/л, мух содержали при постоянных условиях в климатической камере Binder,

с температурой 25 °С, с 12-ти часовым циклом освещения и 60 % влажностью. При анализе влияния гипертермии мух содержали на стандартной среде (2% агара, 5% сахара) при температуре 35°С.

Результаты анализа эффектов бета-кариофиллена на продолжительность жизни показали, что у самцов все три концентрации вызывают статистически значимые ($p < 0.05$) положительные эффекты на продолжительность жизни, как медианной (рис. 1), так и максимальной (рис. 2). Медианная продолжительность жизни самцов при обработке бета-кариофилленом увеличилась в концентрациях 25, 50 и 100 мкмоль/л на 8.9%, 6.6% и 4.4% соответственно; максимальная продолжительность жизни у самцов при обработке бета-кариофилленом увеличилась в концентрациях 25, 50 и 100 мкмоль/л на 7.3%, 9.1% и 5.4% соответственно. У самок обработка бета-кариофилленом в концентрациях 25, 50 и 100 мкмоль/л вызвала статистически значимое ($p < 0.01$) увеличение медианной продолжительности жизни (рис. 3) на 1.6%,1.6% и 6.4%; в то время как достоверное увеличение ($p < 0.01$) максимальной продолжительности вызвали концентрации 25 и 100 мкмоль/л на 4.3% (рис. 4).

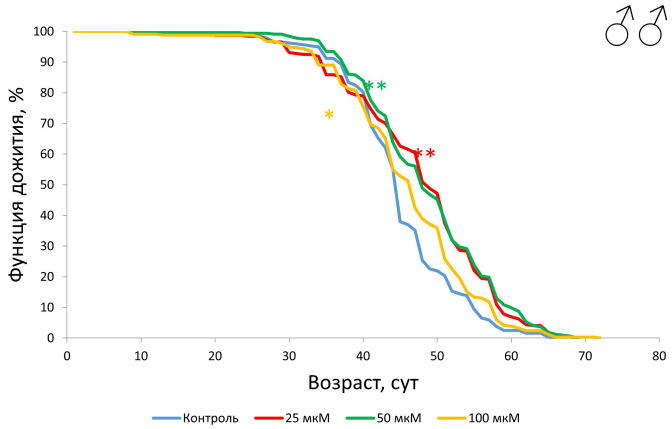


Рис. 1 Эффекты бета-кариофиллена на продолжительность жизни самцов

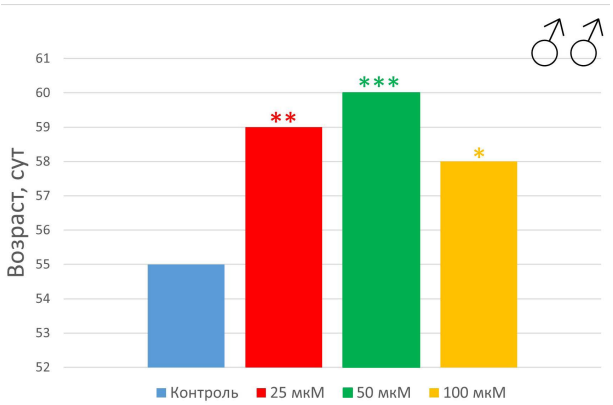


Рис. 2 Максимальная продолжительность жизни самцов

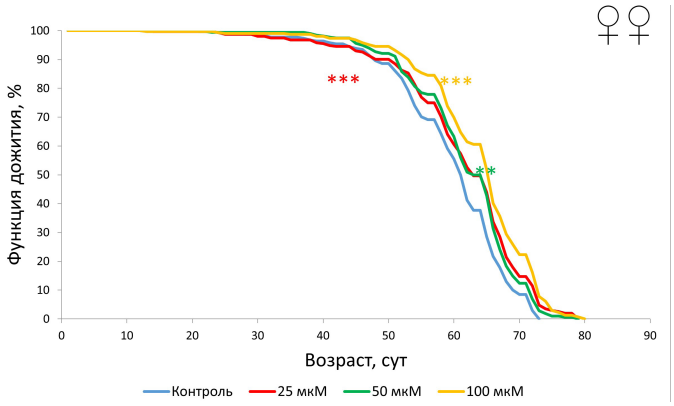


Рис. 3 Эффекты бета-кариофиллена на продолжительность жизни самок

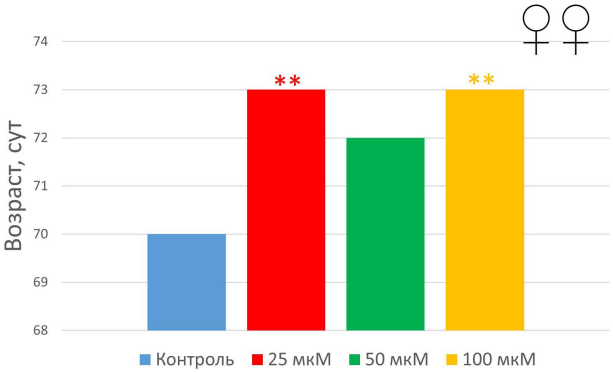


Рис. 4 Максимальная продолжительность жизни самок

Установлено, что при воздействии гипертермии бета-кариофиллен в концентрации 25 мкмоль/л вызывает снижение медианной выживаемости самцов (рис. 5) на 10.5% ($p < 0.01$) и самок (рис. 6) на 12.5% ($p < 0.01$), а в концентрации 100 мкмоль/л наблюдалось статистически значимое ($p < 0.01$) увеличение медианной выживаемости самцов на 21%. Максимальная выживаемость показала у самцов достоверное снижение ($p < 0.05$) на 12.5% в концентрации 25 мкмоль/л (рис. 7), у самок статистически значимых ($p > 0.05$) эффектов не обнаружено (рис. 8).

При воздействии окислительного стресса было выявлено статистически значимое ($p < 0.05$) увеличение медианной выживаемости самцов на концентрациях 25 мкмоль/л и 50 мкмоль/л на 13.9% и 11.6%, соответственно (рис. 9). У самок статистически значимых эффектов влияния кариофиллена на устойчивость к окислительному стрессу не выявлено (рис. 10).

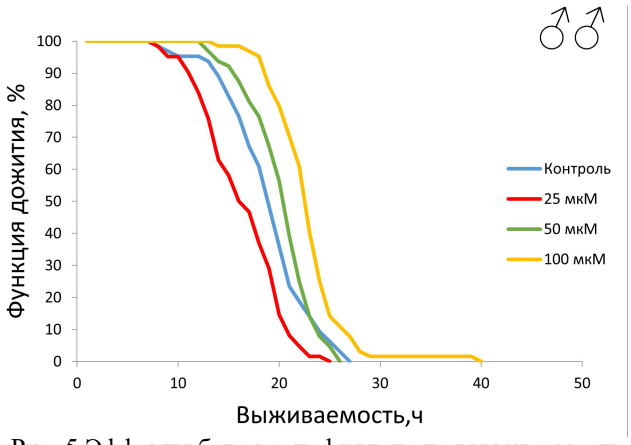


Рис. 5 Эффекты бета-кариофиллена на выживаемость самцов при гипертермии

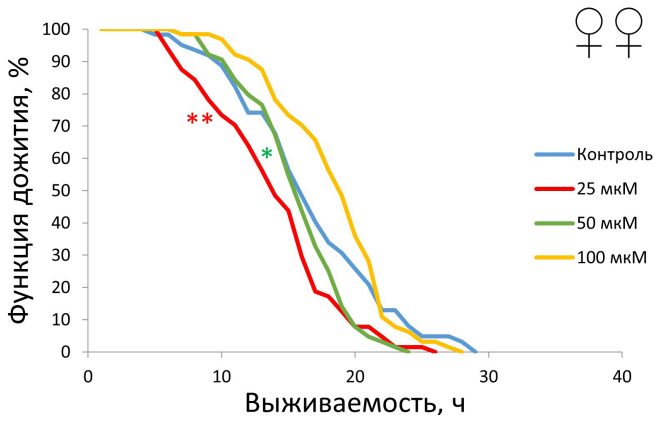


Рис. 6 Эффекты бета-кариофиллена на выживаемость самок при гипертермии

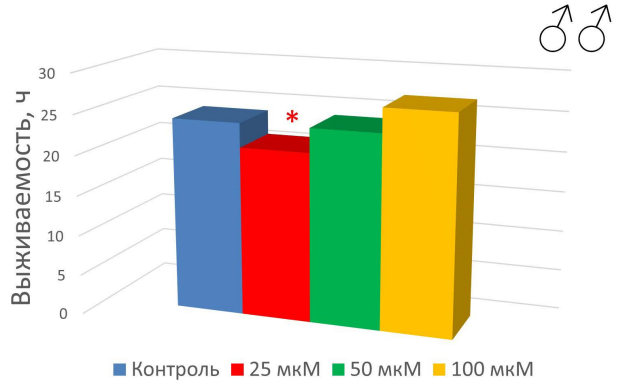


Рис. 7 Максимальная выживаемость самцов при гипертермии

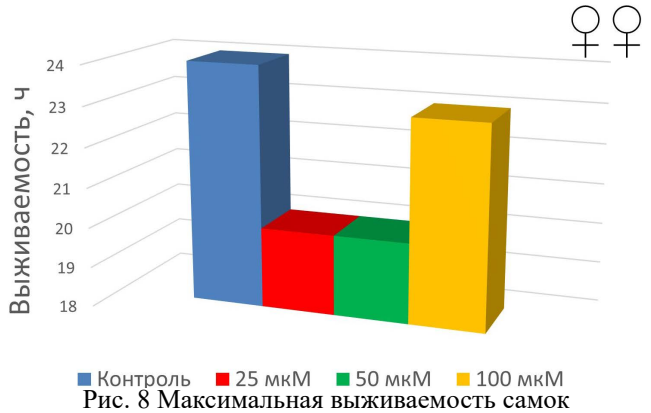


Рис. 8 Максимальная выживаемость самок при гипертермии

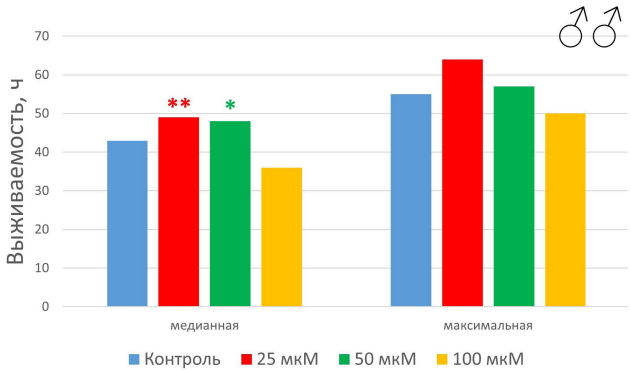


Рис. 9 Эффекты бета-кариофиллена на выживаемость самцов при окислительном стрессе

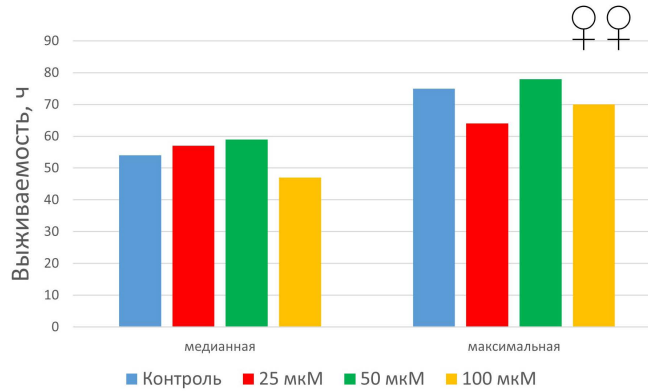


Рис. 10 Эффекты бета-кариофиллена на выживаемость самок при окислительном стрессе

Литература

1. Pant A., Mishra V., Saikia S.K., Shukla V., et al. Beta-caryophyllene modulates expression of stress response genes and mediates longevity in Caenorhabditis elegans // Exp Gerontol, 2016. V. 57. P. 81-95.
2. Calleja M.A., Vieites J.M., Montero-Meterdez T., Torres M.I., Faus M.J., Gil A., Suárez A. The antioxidant effect of β-caryophyllene protects rat liver from carbon tetrachloride-induced fibrosis by inhibiting hepatic stellate cell activation // Br. J. Nutr., 2013. V. 109. pp. 394-401.
3. Kudryavtseva A., Krasnov G., Lipatova A., Alekseev B., et al. Effects of Abies sibirica terpenes on cancer- and aging-associated pathways in human cells // Oncotarget, 2016. V. 7. P. 83744–83754.
4. Mantel N. Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration. // Cancer Chemother Rep., 1966. P. 163–170.
5. Proshkina E., Plyusnin S., Babak T., Lashmanova E., et al. Terpenoids as Potential Geroprotectors // Antioxidants, 2020. 9(6):529.

5 СЕКЦИЯ

ВЛИЯНИЕ ФУНГИЦИДОВ АЗОКСИСТРОБИНА И ТЕБУКОНАЗОЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕМБРАН КЛЕТОК ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ К ДЕЙСТВИЮ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Е.В. Бережная[1], О.И. Грабельных[1,2], Н.В. Дорофеев[1], Е.А. Полякова[1]

[1]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
E-mail: ekaterina809@mail.ru
[2]Иркутский государственный университет

В сельском хозяйстве применяются различные протравители семян на основе фунгицидов. Фунгициды из класса стробилуринов и триазолов и протравители на их основе оказывают ряд физиологических эффектов на растения, в том числе показано их положительное действие на стрессоустойчивость (Побежимова и др., 2019; Amaro et al., 2019). В связи с этим представляется актуальным исследовать влияние фунгицидов азоксистробина (стробилурины) и тебуконазола (триазолы) на устойчивость мембран клеток озимой пшеницы к действию низких температур.

Объектом исследования являлись 3-суточные этиолированные проростки озимой пшеницы сорта «Иркутская». Фунгицидами обрабатывали поверхность семян и использовали следующие варианты обработок (количества веществ указаны в расчёте на 50 г семян): 1) необработанные, 2) обработанные 50 мкл диметилсульфоксида (ДМСО), 3) обработанные 2.5 мг азоксистробина, 4) обработанные 1.5 мг тебуконазола, 5) обработанные одновременно 2.5 мг азоксистробина и 1.5 мг тебуконазола. Поскольку фунгициды растворяли в ДМСО, то семена, обработанные ДМСО, являлись контролем (далее ДМСО-контроль). Необработанные семена использовались для учёта влияния ДМСО, которое отсутствовало или было незначимым.

3-суточные этиолированные проростки, выращенные при +24°C (контрольные условия), подвергали закаливанию в течение 7 суток при +2°C и 24 ч при −2°C. После закаливания постепенно понижали температуру и выдерживали проростки по 24 ч при температурах −4°C, −6°C, −8°C, −10°C, затем температуру постепенно повышали, выдерживая проростки по 24 ч при температурах −8°C, −6°C, −4°C и 0°C. Далее проростки раззакаливали в течение 12 ч при +4°C, после чего подвергали стрессу при −6°C для имитации заморозков после потепления. Определение показателей проводили у контрольных растений, после 1-го этапа закаливания, раззакаливания и стресса после раззакаливания. Также определяли выход электролитов при температурах −8°C и −10°C, следующих непосредственно после закаливания.

Степень повреждения мембран клеток, которую определяли по выходу электролитов, в контрольных условиях (+24°C) снижалась при действии фунгицидов. Так, азоксистробин и тебуконазол уменьшали степень повреждения на 8%, а обработка двумя фунгицидами одновременно – на 5% по сравнению с ДМСО-контролем. При этом при закаливании действия фунгицидов, отличного от действия ДМСО-контроля, не наблюдали. При действии −8°C все три обработки фунгицидами уменьшали степень повреждения мембран примерно на 40%, но уже при −10°C обработки не оказывали защитного действия. После раззакаливания степень повреждения снизилась на 37% и 25% соответственно обработки азоксистробином и двумя фунгицидами одновременно. После действия стрессовой температуры на раззакалённые растения степень повреждения при действии азоксистробина была ниже, чем в ДМСО-контроле, на 34%, а при действии тебуконазола – на 41%, при этом их комбинированное действие усиливало защитный эффект, снижая степень повреждения на 51%.

Одна из причин повреждения мембран клеток и увеличения проницаемости мембран при стрессе является активация перекисного окисления липидов (ПОЛ), об уровне которого можно судить по содержанию ТБК-реактивных продуктов (ТБК-РП). Содержание ТБК-РП при действии низких температур (закаливание, раззакаливание, стресс) было выше при всех обработках, включая контроли, по сравнению с контрольными растениями (+24°C). При этом тебуконазол и обработка двумя фунгицидами одновременно в равной степени увеличили содержание продуктов ПОЛ на 26% и 37% при закаливании и раззакаливании соответственно по сравнению с ДМСО-контролем. При стрессе только обработка двумя фунгицидами одновременно увеличила содержание ТБК-РП на 25% по сравнению с ДМСО-контролем.

Индукцию ПОЛ вызывают активные формы кислорода (АФК), в частности, пероксид водорода. В данной работе содержание пероксида водорода возрастало при действии низких температур по сравнению с контрольными условиями во всех вариантах обработок, включая контроли, однако фунгициды при рассматриваемых температурных условиях не оказывали влияния на его содержание. Таким образом, увеличение содержания продуктов ТБК-РП положительно коррелирует с содержанием пероксида водорода, однако усиление активности ПОЛ при действии тебуконазола и обработки двумя фунгицидами одновременно, вероятно, было обусловлено действием других форм АФК.

Поскольку данные об уровне ПОЛ не согласуются с данными о повышении устойчивости мембран при действии фунгицидов, предположили, что существует механизм, нивелирующий негативный эффект ПОЛ. Таким действием могут обладать водорастворимые углеводы, проявляющие свойства антиоксидантов (Синькевич и др., 2009) и мембранопротекторов, например, сахароза (Savitch et al., 2000). В 3-суточных контрольных и закалённых проростках содержание сахаров при действии фунгицидов было выше, чем в ДМСО-контроле. При этом тебуконазол и одновременная обработка двумя фунгицидами оказывали более существенное влияние, чем азоксистробин. При раззакаливании и последующем стрессе содержание сахаров при обработке фунгицидами было таким же, как в ДМСО-контроле. Расходование сахаров в этих условиях, возможно, объясняется не только тратами на митохондриальное дыхание, но и их действием в качестве антиоксидантов и мембранопротекторов.

Таким образом, в результате проведённой работы было выявлено, что три обработки фунгицидами снижали степень повреждения мембран этиолированных проростков озимой пшеницы при действии низких температур, несмотря на возросший уровень ПОЛ вследствие действия как низкой температуры, так и обработок тебуконазолом и двумя фунгицидами одновременно. Предположительно, защитную роль от действия ПОЛ выполняли сахара, содержание которых при действии фунгицидов было увеличено при закаливании.

Литература

1. Побежимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2019. Т. 9. № 3. С. 461-476.
2. Синькевич М.С., Дерябин А.Н., Трунова Т.И. Особенности окислительного стресса у растений картофеля с изменённым углеводным метаболизмом // Физиология растений, 2009. Т. 56. № 2. С. 186-192.
3. Amaro A., Baron D., Ono E., Rodrigues J. Physiological effects of strobilurin and carboxamides on plants: an overview // Acta Physiologiae Plantarum, 2020. V. 42. P. 1-10 https://doi.org/10.1007/s11738-019-2991-x
4. Savitch L.V., Harney T., Huner N.R. Sucrose metabolism in spring and winter wheat in response to high irradiance, cold stress and cold acclimation // Physiologia Plantarum, 2000. V. 108. P. 270–278.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ЦИНКА В СУБСТРАТЕ

А.А. Игнатенко, Е.С. Холопцева, Н.М. Казнина

Институт биологии КарНЦ РАН
E-mail: angelina911@ya.ru

Известно, что многие регуляторы роста индуцируют повышение устойчивости растений к действию различных стресс-факторов. Особый интерес представляют те из них, которые при этом способны увеличивать продуктивность растений. К таким веществам, в частности, относится соединение фенольной природы – салициловая кислота (СК). Так, показано, что обработка СК растений пшеницы повышала их устойчивость к патогенам (Шакирова, 2001), а растений кукурузы – к низкой температуре (Ahmad et al., 2014). При этом увеличивалась и их продуктивность.

Одним из сильных стрессоров, влияющих на продуктивность злаков, считается дефицит цинка в почве. Это связано с тем, что цинк является одним из важных микроэлементов, необходимых для нормального роста и развития растений. Он участвует в углеводном обмене, биосинтезе и деградации белков, поддержании структурной и функциональной целостности мембран, регуляции активности большого числа ферментов, биосинтезе хлорофиллов и триптофана. Ввиду многоплановой роли цинка в метаболизме растений, его недостаток приводит к торможению их роста, замедлению развития, снижению скорости фотосинтеза, нарушению водного обмена и минерального питания, что неизбежно сказывается на продуктивности (Казнина, Титов, 2019). Данных об ответной реакции растений, испытывающих дефицит цинка, на обработку СК в настоящее время в литературе нет. В связи с этим, целью работы стало изучение влияния обработки СК на рост, фотосинтетический аппарат (ФСА) и семенную продуктивность ячменя в условиях дефицита цинка в субстрате.

Объектом служили растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур, которые выращивали в вегетационных условиях на песчаном субстрате. Контрольный вариант поливали питательным раствором Хогланда-Арнона с оптимальной концентрацией цинка (2 мкмоль/л), а опытный – питательным раствором без цинка. В опыте использовали два вида обработки СК: предпосевное замачивание семян в растворе СК (10 мкмоль/л) в течение 24 ч и опрыскивание вегетирующих растений раствором СК (100 мкмоль/л) в фазу начала выхода в трубку за 24 ч до анализа. Об устойчивости растений к недостатку микроэлемента судили в фазу начала выхода в трубку по изменению (по отношению к контролю) ростовых показателей и активности ФСА. О влиянии обработки СК на семенную продуктивность растений – по изменению основных ее элементов в фазу созревания семян.

В результате опытов было установлено, что недостаток цинка оказывает негативное влияние на рост ячменя: у растений уменьшались высота побега, его сырая биомасса, длина и площадь 4-го и 5-го листьев. При этом интенсивность фотосинтеза и транспирации в этих условиях не изменялись (рис. 1). При действии на растения СК (независимо от способа обработки) в условиях оптимального минерального питания у них существенно повышалась интенсивность транспирации (рис. 1А), а скорость фотосинтеза увеличивалась только при внекорневой обработке растений СК (рис. 1Б).

При недостатке цинка в субстрате СК индуцировала значительное увеличение (по сравнению с контролем) интенсивности фотосинтеза, как при обработке семян, так и при ее внекорневом применении (рис. 1Б). После обработки семян СК у растений также наблюдалось повышение интенсивности транспирации (рис. 1А). Кроме того, этот вид обработки способствовал уменьшению отрицательного воздействия недостатка цинка на рост растений ячменя.

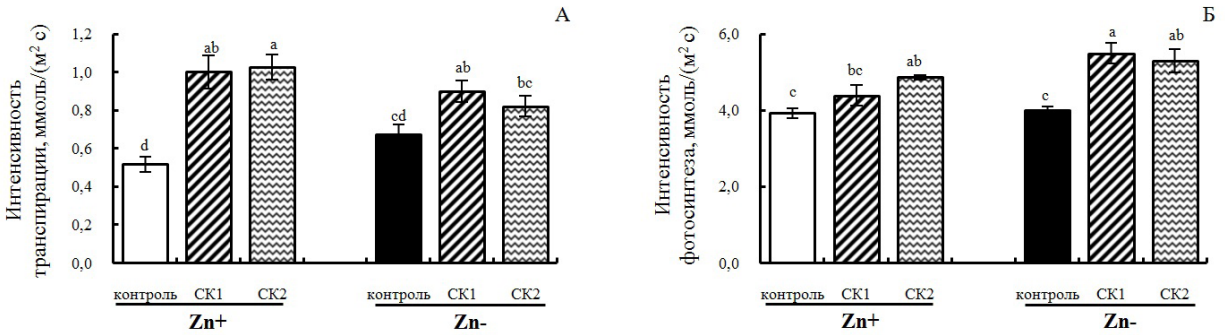


Рис.1. Влияние разных видов обработки СК на интенсивность транспирации (А) и фотосинтеза (Б) в листьях растений ячменя, выращенных при оптимальном содержании цинка в субстрате (Zn+) или его дефиците (Zn–). *Контроль* – семена пророщены на дистиллированной воде; *СК1* – семена пророщены на растворе СК в течение 24 ч; *СК2* – растения однократно опрысканы раствором СК за 24 ч до измерения показателей. Разными латинскими буквами отмечены статистически значимые различия между вариантами при $P < 0.05$.

В результате проведенного исследования установлено, что в условиях дефицита цинка в субстрате обработка ячменя СК повышает семенную продуктивность растений. В частности, в варианте с предпосевной обработкой семян СК повышались длина колоса главного побега (на 14% по отношению к контролю) и количество колосков на нем (на 12%) (табл. 1). В варианте с опрыскиванием растений СК это повышение было ещё заметнее и составило 16% и 25%, соответственно (табл. 1). Кроме того, при недостатке цинка у растений этого варианта обнаружено увеличение общего количества семян на колосе главного побега (на 29%) и количества выполненных семян на нем (на 25%).

Таблица

Влияние разных способов обработки СК на основные элементы урожая семян растений ячменя, выращенных в условиях дефицита цинка в субстрате

Показатель	Вариант		
	Контроль	СК1	СК2
Длина колоса главного побега, см	3.97±0.18[b]	4.53±0.15[a]	4.62±0.14[a]
Количество колосков на колосе главного побега, шт.	10.97±0.37[c]	12.32±0.37[b]	13.67±0.37[a]
Общее количество семян на колосе главного побега, шт.	8.97±0.65[b]	10.27±0.49[ab]	11.25±0.65[a]
Количество выполненных семян на колосе главного побега, шт.	8.55±0.70[b]	10.22±0.53[ab]	11.00±0.69[a]

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что обработка растений СК повышает устойчивость ячменя к дефициту цинка в субстрате, а также увеличивает семенную продуктивность этой важнейшей хлебной культуры в стрессовых условиях.

Исследование выполнено за счет финансирования гранта РНФ (проект №22-26-00168).

Литература

1. Казнина Н.М., Титов А.Ф. Влияние дефицита цинка на физиологические процессы и продуктивность культурных злаков // Успехи современной биологии, 2019. Т. 139 (3). С. 280-291.
2. Шакирова Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. Уфа: Гилем, 2001. 160 с.
3. Ahmad I., Basra S.M.A., Wahid A. Exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide improves the productivity of hybrid maize at low temperature stress // Int. J. Agric. Biol., 2014. V. 16 (4). P. 825-830.

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ МИЦЕЛИЯ И МИЦЕЛИАЛЬНО-СУБСТРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В.В. Мартынов

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: martynov.v.v@ib.komisc.ru

Грибы являются одним из важнейших элементов экосистем, как по видовому разнообразию, так по биомассе и функциональной нагрузке. Представители этого царства живых организмов с древнейших времен являются ценным пищевым ресурсом для человека. Имеются многочисленные примеры использования грибов в народной и научной медицине. В настоящее время большой интерес для восстановительной медицины представляют исследования по созданию новых адаптогенных средств, повышающих иммунный статус, сопротивление организма в условиях стресса, в неблагоприятных условиях природной и производственной среды. Источником биологически активных соединений с ожидаемой адаптогенной активностью могут служить ксилотрофные грибы *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., а также представители родов *Trametes, Grifola, Ganoderma, Polyporus,* и др. (Kovganko, 1999; Akgul et al., 2021; Li et al., 2021, Mustafin et al., 2022).

С развитием биотехнологии стало возможным получать мицелий грибов и на их основе экстракты или очищенные субстанции в количествах, достаточных для нужд фармацевтической промышленности.

Цель настоящей работы заключалась в изучении ростовых характеристик, активности лигнолитических ферментов у некоторых видов ксилотрофных грибов, отбор наиболее быстрорастущих штаммов, подбор субстратов и наиболее оптимальных условий культивирования для получения мицелия и мицелиально-субстратных комплексов в качестве сырья для выделения биологически активных соединений.

Задачи исследования:

- сравнительное изучение разрушения компонентов древесины различными видами ксилотрофных грибов;
- определение активности лигнолитических ферментов дереворазрушающих грибов при глубинном и твердофазном культивировании на различных отходах древесины;
- отбор быстрорастущих штаммов ксилотрофных грибов и подбор условий их культивирования на лигноцеллюлозном субстрате.

Нами было показано, что изученные в эксперименте штаммы дереворазрушающих грибов: *Panus tigrinus* (Bull.) Fr., Syst. 8/18, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., и *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd, ЛЕ-074, способны ассимилировать компоненты древесины березовых опилок. Активный рост грибов *P. tigrinus* 8/18 и *T. hirsuta* ЛЕ-074 отмечен через 2-3-е суток после посева. Культура *Pl. ostreatus* имела более длительный *lag*-период, активная колонизация субстрата началась на 4-5-е сутки культивирования. Разрушение лигноцеллюлозного субстрата грибом *T. hirsuta* на протяжении всего процесса твердофазной ферментации было большим, чем грибами *P. tigrinus* и *Pl. ostreatus*, у которых динамика изменения данного показателя оказалась сходной (рис. 1). При совместной ферментации опилок грибами *T. hirsuta* и *Pl. ostreatus* отмечалась наибольшая потеря органического вещества субстрата (29 %). Во всех изученных процессах, разрушение органического вещества опилок продолжалось вплоть до 5-ой недели культивирования.

Анализ подвергавшегося биодеструкции лигноцеллюлозного комплекса березовых опилок показал, что все грибы разлагали как лигниновые, так и целлюлозные компоненты субстрата (рис. 2, 3). Заметная деградация лигнина в опилках, ферментированных грибом *T. hirsuta*, наблюдалась уже на 7-е сутки роста, к 28-м суткам ферментации гриб усваивал 33.3 % лигнина

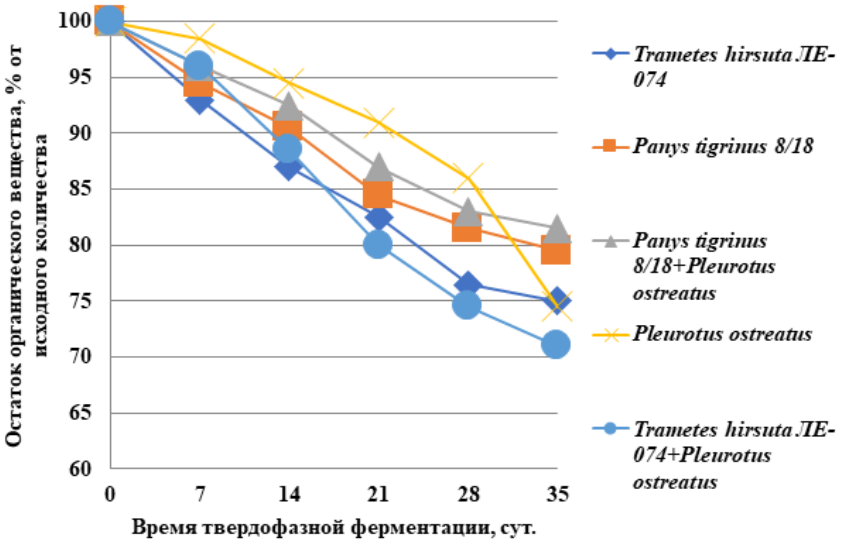


Рис. 1. Динамика разрушения органического вещества берёзовых опилок в процессе твердофазной ферментации базидиомицетами.

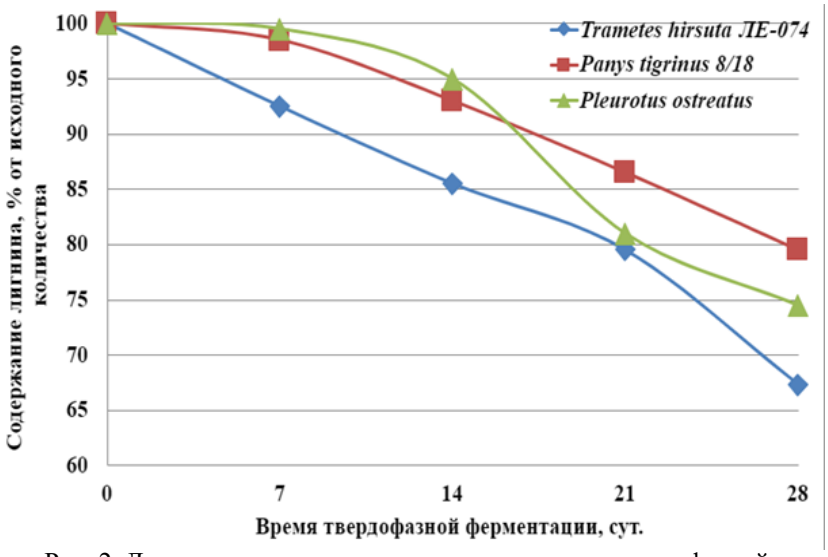


Рис. 2. Динамика деградации лигнина в процессе твердофазной ферментации берёзовых опилок дереворазрушающими грибами.

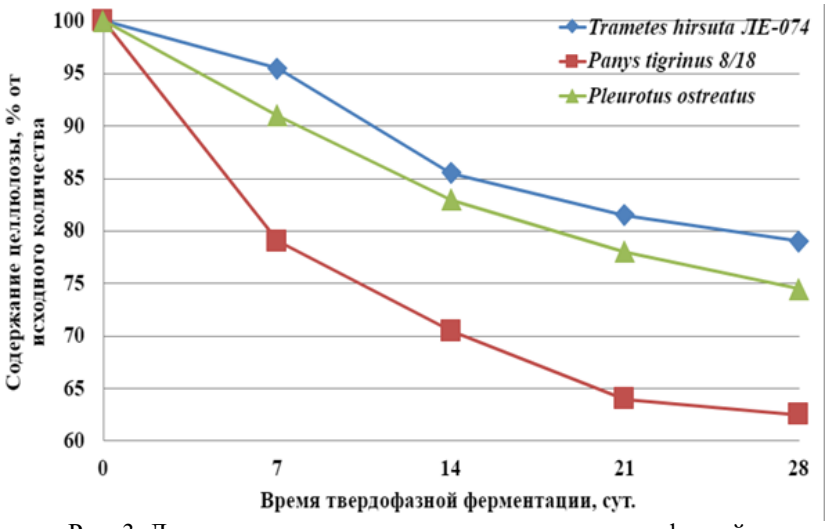


Рис. 3. Динамика деградации целлюлозы при твердофазной ферментации берёзовых опилок дереворазрушающими грибами.

из субстрата. Менее интенсивно лигнин березовых опилок разлагали *P. tigrinus* и *Pl. ostreatus*, тем не менее, к концу ферментации деструкция его составила соответственно 20.2 и 27.0 %.

P. tigrinus наиболее активно разрушал целлюлозный компонент опилок – на 21-е сутки ферментации потеря целлюлозы составляла 35.5 %. К этому сроку убыль целлюлозы в опилках, ферментированных грибами *Pl. ostreatus и T. hirsuta*, составила соответственно 26.0 и 19.5 %.

Нами была исследована активность лигнинразрушающих ферментов двух штаммов: *T. hirsuta* 24.24 и 17.24, а также в сравнительном плане изучена соответствующая ферментативная активность гриба *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst., 5.21 (таблица). Показано, что *F. pinicola* 5·21 обладает высокой лигнинпероксидазной активностью, а оба штамма *T. hirsute* 24.24; 17.24 обладают высокой и лигнинпероксидазной, и лакказной активностью. Совместное действие ферментов лигнинпероксидазы с высокой окислительной способностью и низкой специфичностью действия и лакказы, участвующей в ключевых реакциях биодеградации лигнина, делает все три изученных штамма гриба *T. hirsuta* эффективными деструкторами лигнина.

Таблица

Максимальные активности внеклеточных лигниназ грибов в зависимости от типа субстрата и способа культивирования

Субстрат	Способ культивирования	Лакказа, усл. ед/мл×мин	Марганец-пероксидаза, усл. ед/мл×мин	Лигнинпе-роксидаза, усл. ед/мл×мин
Trametes hirsuta штамм 24.24				
Еловые опилки	ГК	16.65 (14)	4.55 (14)	14.83 (14)
	ТФФ	12.52 (21)	11.79 (21)	25.18 (21)
Берёзовые опилки	ГК	9.76 (14)	3.80 (14)	13.47 (14)
	ТФФ	10.27 (21)	11.25 (21)	23.42 (21)
Trametes hirsuta штамм 17.24				
Еловые опилки	ГК	10.20 (14)	3.32 (14)	13.53 (14)
	ТФФ	9.19 (21)	10.47 (21)	28.33 (21)
Берёзовые опилки	ГК	9.85 (14)	3.15 (14)	11.49 (14)
	ТФФ	7.01 (21)	9.28 (21)	24.32 (21)
Fomitopsis pinicola штамм 5.21				
Еловые опилки	ГК	6.68 (14)	3.36 (14)	12.35 (14)
	ТФФ	3.87 (21)	8.66 (21)	17.32 (21)
Берёзовые опилки	ГК	1.98 (14)	3.02 (14)	10.36 (14)
	ТФФ	3.05 (21)	8.35 (21)	16.48 (21)

Примечание – в скобках указаны сутки, когда была отмечена максимальная активность.

Таким образом, нами показано, что наиболее быстрорастущим штаммом является гриб *T hirsuta*, который при биоконверсии древесины в большей степени разрушает лигнин. Для твердофазной ферментации предпочтительно использовать опилки хвойных пород деревьев.

В настоящее время поставлен расширенный эксперимент по твердофазной ферментации еловых опилок грибом *T. hirsuta* для наработки мицелиально-субстратного комплекса с целью определения антиоксидантной активности полученного из него экстракта и определения вклада в этой действие очищенных индивидуальных соединений.

Работа выполнена под научным руководством доктора биологических наук, профессора Володина Владимира Витальевича. Автор благодарит сотрудников лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Шергину Н.Н. и Володину С.О. за проявленный интерес к работе и предоставлении данных, а так же Кожевникову Е.Ю. из Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина за предоставленные штаммы ксилотрофных базидиомицетов: T. hirsuta штамм 24.24 и штамм 17.24, и F. pinicola штамм 5.21. Работа выполнена по теме государственного задания Института Биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № FUUU-2022-0082.

Литература

1. Akgül H., Aslan A., Akata I., et al. Phenolic content and biological activities of Trametes hirsuta // Fresenius Environmental Bulletin, 2021. V. 30. P. 4130-4135.
2. Kovganko N. V. Ecdysteroids and related compounds in fungi // Chemistry of Natural Compounds, 1999. V. 35. No. 6. P. 597-611.
3. Li Y.C., Ngan N.T., Cheng K.C., et al. Constituents from the Fruiting Bodies of Trametes cubensis and Trametes suaveolens in Vietnam and Their Anti-Inflammatory Bioactivity // Molecules, 2021. V. 26. P.7311.
4. Mustafin K., Bisko N., Blieva R., et al. Antioxidant and antimicrobial potential of Ganoderma lucidum and Trametes versicolor // Turkish Journal of Biochemistry, 2022. Doi: 10.1515/tjb-2021-0141.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО МИКРОБИОМА АРХИПЕЛАГОВ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВАЯ ЗЕМЛЯ

Д.А. Никитин

Почвенный институт имени В.В. Докучаева
E-mail: dimnik90@mail.ru

Изучение полярных регионов актуально ввиду чрезвычайно быстрого потепления в Арктике и Антарктике по сравнению с другими территориями. Это приводит к росту биологической активности почвы и эмиссии парниковых газов (Никитин и др., 2020). Почва – основа существования наземных экосистем, а ее микроорганизмы играют ключевую роль в биогеохимических циклах. Исследование микробиома почв полярных регионов даст возможность оценить продуктивность местных экосистем и информацию о специфике формирования почв. Знания о структуре почвенного микробиома могут служить индикатором состоянии экосистем в условиях изменения климата.

В почвах Земли Франца-Иосифа (ЗФИ) – псаммоземах, пелоземах, криоземах, литоземах и серо-гумусовых почвах – оценена биомасса прокариот и грибов, запасы $C_{орг}$, эмиссия CO_2, численность КОЕ и рибосомальных генов микроорганизмов.

Наибольшие запасы $C_{орг}$ в литоземах – 23.2 кг С/м^2, пелоземах и псаммоземах – 13.7 и 20.7 кг С/м^2 ЗФИ соответственно.

Численность прокариот на ЗФИ – от 0.14 до 2.10 млрд. кл/г почвы (Никитин и др., 2020). Биомасса грибов варьировала от десятых долей до сотен мг/г почвы. Доля спор достигала более половины биомассы грибов. Длина грибного мицелия – от 4 до 272 м/г почвы. Наибольшее развитие грибов – в лишайниковых и моховых очесах, экспоненциально снижаясь с глубиной, где в несколько раз возрастала доля прокариот.

Уровень базального дыхания почв ЗФИ составлял от 1.6 до 91.7 мг С-CO_2 м^2 в час и различался в десятки раз между высокоарктическими тундрами и пустошами (Никитин и др., 2020).

Численность ITS рРНК грибов варьировала от 1.0×10^9 до 4.40×10^{10} копий генов/г почвы в минеральных и органогенных слоях ЗФИ (Никитин, Семенов, 2022).

Количество микромицетов ЗФИ варьировало от 3.10×10^1 до 6.56×10^3 КОЕ/г почвы (Никитин, Семенов, 2022). Доминировали психрофильные и сапротрофные роды *Hyphozyma, Phoma, Thelebolus и Pseudogymnoascus*. Высокую встречаемость (40%) отмечали у *P. pannorum, H. variabilis, T. microsporus* и *Goffeauzyma gilvescens*.

В почвах северной части Новой Земли (НЗ) – карбопетроземах, пелоземах и криоземах – оценена биомасса прокариот и грибов, запасы $C_{орг}$, эмиссия CO_2, разнообразие и численность КОЕ и рибосомальных генов микроорганизмов.

В почвах НЗ от 0.21 до 18.69% $C_{орг}$ и от 0.03 до 0.14% $N_{орг}$. Влажность почв варьировала от 6 до 80% и резко уменьшалась с глубиной. Все почвы НЗ слабощелочные и щелочные (pH от 7.26 до 8.22) (Никитин и др., 2021а).

Биомасса микроорганизмов НЗ составляла от 22.50 до 390.18 мкг/г почвы, а доля грибов в ней – от 80 до 98%. До половины биомассы сконцентрировано в верхнем органогенном горизонте. Численность прокариот колебалась от 1.5×10^7 до 9.66×10^8 клеток/г почвы, а биомасса грибов – от 22 до 372 мкг/г почвы. Длина актиномицетного мицелия мала – от 0.6 до 23.5 м/г почвы, а грибных гиф – на порядок выше – до 166 м/г почвы. Для большинства почв НЗ доля мицелия едва достигала 45%. Численность пропагул микобиоты изменялась от 10^4 до 10^5 шт/г почвы (Никитин и др., 2021а).

Базальное дыхание почв НЗ варьировало от 0.26 до 243.73 мкг С–CO_2/(г×сут). Активность метаногенеза – от 0.48 до 6.18 нг CH_4/(г×сут), интенсивность денитрификации – от 0.50 до 18.81 мкг N–N_2O/(г×сут). Все параметры биологической активности почв НЗ резко снижались вниз по профилю, что коррелировало с содержанием $C_{орг}$ и $N_{орг}$ (Никитин и др., 2021а).

Среди бактерий почв НЗ доминировали (обилие 20%) филумы Proteobacteria, Actininobacteria и Acidobacteria; гораздо меньше (1-10% обилия) Bacteroidetes, Firmicutes, Verrucomicrobia, Gemmatimonadetes и Chloroflexi. На долю домена Archaea, представленного в основном родом *Ferroplasma* из филума Euryarchaeota, приходилось ≤ 10% обилия. Разнообразие прокариот увеличивалось вниз по профилям почв и максимально в надмерзлотных горизонтах, где много филумов-кандидатов – Latescibacteria, Tectomicrobia, Parcubacteria, Saccaribacteria, Hydrogenedentes и др.

Численность 16S рРНК архей мала – от 2.20×10^7 до 1.63×10^9 копий генов/г почвы. Содержание 16S рРНК бактерий в 100 раз больше, чем архей – от 4.19×10^9 до 2.26×10^{11} копий генов/г почвы. Количество ITS рРНК грибов – от 1.58×10^8 до 7.56×10^9 копий генов/г почвы. Содержание генетического материала всех микроорганизмов резко сокращалось от поверхностных горизонтов почв к глубинным слоям.

Численность функциональных генов AmoA (нитрификация), варьировала от 8.89×10^4 до 1.28×10^7 копий генов/г почвы. Количество генов NifH (фиксацию азота), изменялось от 5.96×10^8 до 9.78×10^{10} копий генов/г почвы. Численность генов NirK (денитрификация), варьировала от 7.99×10^7 до 2.13×10^{10} копий генов/г почвы. Таким образом, в почвах НЗ наиболее интенсивна азотфиксация. Содержание AmoA уменьшалось, а количество NifH и NirK увеличивалось по профилю с глубиной.

Численность аэробных и анаэробных азотфиксаторов, а также денитрификаторов НЗ низко (десятки и сотни КОЕ/г почвы). Количество сапротрофных бактерий НЗ варьировало от 3.3×10^4 до 1.2×10^6 КОЕ/г почвы; актиномицетов – от 1.3×10^3 до 4.0×10^5 КОЕ/г почвы; микромицетов – от 2.5×10^2 до 1.5×10^4 КОЕ/г почвы (Никитин и др., 2021b). Численность всех микроорганизмов резко уменьшалась вниз по профилю. Доминировали бактерии *Arthrobacter* и *Bacillus*, актиномицеты *Streptomyces* и *Micromonospora*, микромицеты *Goffeauzyma, Phoma, Pseudogymnoascus* и *Thelebolus*.

Пространственная неоднородность микробиома в изученных почвах ЗФИ и НЗ выявлена в пределах верхних 5 см, тогда как более глубокие горизонты характеризовались схожей структурой сообществ. Биологическая активность почв НЗ меньше по сравнению с более северными почвами ЗФИ, что связано с иссушающим и охлаждающим влиянием самого крупного ледника в России на НЗ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00328.

Литература

1. Никитин Д.А., Лысак Л.В., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Зазовская Э.П., Горячкин С.В. Микробная биомасса, запасы углерода и эмиссия CO 2 в почвах Земли Франца-Иосифа: высокоарктические тундры или полярные пустыни? // Почвоведение, 2020. №4 С. 444-462. DOI: 10.31857/S0032180X20040115
2. Никитин Д.А., Семенов М.В. Характеристика микобиоты почв Земли Франца-Иосифа методами микробиологического посева и ПЦР в реальном времени // Микробиология, 2022. №91(1). С. 62-74. DOI: 10.31857/S0026365622010098
3. Никитин Д.А., Лысак Л.В., Бадмадашиев Д.В., Холод С.С., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Горячкин С.В. Биологическая активность почв в условиях покровного оледенения в северной части архипелага Новая Земля // Почвоведение, 2021. №10. С. 1207-1230. DOI: 10.31857/S0032180X21100087 (a)
4. Никитин Д.А, Лысак Л.В., Кутовая О.В., Грачева Т.А. 2021. Эколого-трофическая структура и таксономическая характеристика сообществ микроорганизмов почв северной части архипелага Новая Земля // Почвоведение, №11. С. 1346-1362. DOI: 10.31857/S0032180X21110101 (b)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОВСА В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Николаев, О.А. Юсова

Омский аграрный научный центр

Овес в Сибири – это одна из основных зернофуражных культур. Зерно овса, высокопитательное и калорийное, считается одним из лучших компонентов при изготовлении полноценного комбикорма и с большим успехом используется для переработки на пищевые продукты. В мире овес возделывают на площади 26 млн. га при средней урожайности 1.7 т/га. В Сибири овес занимает площади около 1.5 млн. га (Huang, Ping, 2000). В течение трех лет отмечался некоторый рост посевных площадей овса: с 126528 га в 2010 г. до 135389 га в 2013 г. Далее наблюдается некоторое снижение посевных площадей под овсом. Так в 2014 г. посевные площади снизились до уровня 2010 г. (126400 га), в 2015 г. они составили 114787 га. Доля сортов селекции «Омского АНЦ» в сортовых посевах составляет более 95%. В настоящие годы на смену старым сортам пришли новые высокопродуктивные. Однако овес, как и другие зерновые культуры, нуждается в повышении количества и качества белка, а также в улучшении других биохимических показателей зерна (Дмитриев, Ведров, 2003).

Наиболее приспособленными к условиям Западной Сибири среди зарубежных форм являются сорта скандинавских стран, особенно, Швеции. Однако, за годы изучения не удалось выделить из исходного материала Швеции устойчивые к болезням формы. Почти не оказалось таковых и среди образцов из Финляндии, Норвегии, Дании, Англии, Нидерландов, Бельгии. Очень мало их в генофонде из стран Центральной и Южной Европы, Балканского полуострова, стран Азии, Африки. Несколько больше иммунных образцов из США, Канады, Мексики, Перу. К сожалению, многие из них в наших условиях низкопродуктивны (Широков и др., 1983).

Несмотря на имеющийся достаточно широкий сортимент овса для возделывания в России остается ряд вопросов требующих селекционной проработки и основной из них: высокая стабильная урожайность зерна в условиях ограниченных благоприятных для культуры экологических факторов. При этом следует рассматривать направления создания сортов зернофуражного, продовольственного и универсального направления на зерно и кормовую массу.

В связи с повышением качества продукции важным представляется дальнейшее развитие голозерных форм. В посевах, как в мире, так и в России распространены ячмень и овес пленчатые. Голозерные формы не получили широкого распространения в культуре, так как по урожайности они уступают пленчатым. Одной из причин пониженной по сравнению с пленчатыми генотипами урожайности у голозерных форм является низкая масса 1000 зерен (Баталова, 2013; Юсова и др., 2020).

В таблице представлены данные качества зерна и продуктивности сортов ФГБНУ «Омский АНЦ», включенных в Госреестр РФ, а также новых перспективных сортов. В группе пленчатых у стандартного сорта Орион содержание белка составило 11.6%, крахмала – 40.8%, сырого жира – 2.5%, массы 1000 зерен – 36.2 г, в среднем за период исследований. Изменчивость исследуемых признаков средняя (CV>10%).

Достоверно превышали стандарт по содержанию белка в зерне линии Мутика 1178, Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202 и Мутика 1205 (+0.9…2.6% к st.); по содержанию крахмала – сорта Иртыш 13 и Факел, а также линия Мутика 1147 (+1.5…2.3% к st.); сырого жира – Иртыш 13, Тарский 2, Уран, Факел, Сибирский геркулес, Мутика 1147, Мутика 1195, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205 (+0.6…1.3% к st.); по массе 1000 зерен – Сибирский геркулес, Мутика 1147 и Мутика 1178 (+0.9…3.4 г к st.).

В группе голозерных у стандартного сорта Сибирский голозерный содержание белка составило 17.2%, крахмала – 53.1%, сырого жира – 4.6%, масса 1000 зерен – 28.1 г. Повышенным содержанием белка характеризовалась линия Инермис 1143 (+1.6% к st.); значение данного по-

казателя на уровне стандарта отмечено у линии Инермис 1189 (17.0%). По содержанию в зерне крахмала все представленные в таблице голозерные образцы превышали стандарт (+2.4…6.2% к st.). Новый перспективный сорт Тарский голозерный характеризовался также прибавкой по крупности зерна (+4.8% к st.) и масличностью на уровне стандарта (4.7%).

Таблица

Характеристика сортов овса по качеству зерна, питомник КСИ, в среднем за 2019–2021 гг.

Сорт	Массовая доля белка, %	Массовая доля крахмала, %	Массовая доля сырого жира, %	Масса 1000 зерен, г
многорядные пленчатые				
Орион, st.	11.6	40.8	2.5	36.2
Иртыш 13	11.3	42.8	3.3	34.0
Иртыш 21	11.0	41.0	2.9	31.2
Тарский 2	10.4	39.4	3.2	36.6
Уран	10.4	41.2	3.7	34.7
Памяти Богачкова	11.0	40.3	2.9	32.0
Факел	10.9	43.1	3.2	34.3
Сибирский геркулес	11.5	42.3	3.3	37.1
Мутика 1147	11.9	42.5	3.5	37.6
Мутика 1178	13.3	39.8	2.6	39.6
Мутика 1180	12.6	40.9	2.5	33.3
Мутика 1195	14.2	39.5	3.1	34.2
Мутика 1196	13.2	39.5	2.8	36.3
Мутика 1200	11.9	41.3	3.8	32.6
Мутика 1202	12.6	40.3	4.0	33.3
Мутика 1205	12.5	41.0	3.4	35.0
двурядные пленчатые				
Сибирский голозерный, st.	17.2	53.1	4.6	28.7
Инермис 1194	15.8	56.1	3.7	29.2
Инермис 1206	15.8	59.2	3.5	29.6
Тарский голозерный	16.6	56.4	4.7	33.5
Инермис 1143	18.8	55.5	3.3	25.9
Инермис 1189	17.0	59.3	2.7	27.5
$НСР_{05}$	0.6	1.7	0.5	0.8
CV, %	18.9	16.1	18.0	10.5

Таким образом, за период исследований 2019-2021 гг. выделены 8 лучших образцов овса, представляющие ценность по комплексу признаков: Мутика 1147: +1.0% к St по массовой доле сырого жира, +1.4 г к St по массе 1000 зерен; Мутика 1178: +1.7% к St по массовой доле белка, +3.4 г к St по массе 1000 зерен; Мутика 1180: +1.0% к St по массовой доле белка; Мутика 1195: +2.6% к St по массовой доле белка, + 0.6% к St по массовой доле сырого жира; Мутика 1196: +1.6% к St по массовой доле белка; Мутика 1200: +1.3% к St по массовой доле сырого жира; Мутика 1202: +1.0% к St по массовой доле белка, +1.5% к St по массовой доле сырого жира; Мутика 1205: +0.9% к St по массовой доле белка и сырого жира; Инермис 1194: +3.0% к St по массовой доле крахмала; Инермис 1206: +6.1% к St по массовой доле крахмала, +0.9 г к St по массовой доле сырого жира; Инермис 1143: +1.6% к St по массовой доле белка, +2.4% к St по массовой доле крахмала; Инермис 1189: +6.2% к St по массовой доле крахмала.

Литература

1. Huang Z., Yu-Ping P. Yanghzhoy daxue xuebae, zizan kexue // J. Yangzhoy, Univ. Natur. Sci, 2000. V. 3. P.36 - 40
2. Дмитриев В.Е., Ведров Н.Г. Истоки и современность земледельческой культуры. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т., 2003. 153с.

3. Широков А.И., Богачков В.И., Масленкова Л.И., Пьянкова Н.И. В поисках иммунных сортов овса //Селекция и семеноводство, 1983. №7. С.19-20.
4. Баталова Г.А. Зернофуражные культуры России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. СПб.: ВИР, 2013. Т. 171. С.131-135.
5. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2020. № 181(2). С. 42-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Николаев, О.А. Юсова

Омский аграрный научный центр

Улучшение качества зерна зернофуражных культур в условиях Западной Сибири является важнейшей и актуальной проблемой современной селекции и требует комплексного подхода. Основой решения должен стать сорт, способный в жестких условиях сибирского лета формировать зерно с хорошей питательной ценностью при сохранении его высокой урожайности (Сурин, 1993; Грязнов, 1996).

Селекционерами создано значительное количество сортов, которые широко возделываются в Сибирском регионе и за его пределами. Но растет многогранность требований, предъявляемых к новым сортам. С повышением уровня потенциальной продуктивности зерновых культур сложнее становится вести селекцию, опираясь на традиционные методы. Особенно это касается отбора по биохимическим показателям, которые селекционер не может учесть, если они не сцеплены с каким-либо морфологическим признаком. Кроме того, необходимо учитывать, что условия возделывания (климат, почвы, агротехника) оказывают существенное влияние на проявление свойств генотипа. В связи с этим данные по отдельным показателям качества зерна могут носить региональный характер.

Ячмень – универсальная сельскохозяйственная культура, как по широте распространения, так и по ее использованию. Скороспелость и высокая экологическая пластичность делают эту культуру незаменимой в условиях сложного и своеобразного по почвенно-климатическим факторам региона (Гаркавый, 1969; Сурин, Ляхова, 1993).

Основное использование ячменя в Западной Сибири и прилегающих к ней районов это, прежде всего, как зернофураж, а также как сырье для изготовления круп и для пивоварения. Такая универсальность использования одних и тех же сортов не способствует удовлетворению потребностей, как сельхозпроизводителя, так и конкретных потребителей крупяной и особенно пивоваренной промышленности. В свою очередь животноводство нуждается в сортах специальных направлений использования. Поэтому необходим достаточный ассортимент сортов различных экотипов возделывания в разнообразных климатических зонах (Юсова и др., 2020). Разностороннее использование ячменя определяет большие различия в критериях качественной оценки зерна, а, следовательно, и в направлениях селекции.

В таблице представлены данные качества зерна и продуктивности сортов ФГБНУ «Омский АНЦ», включенных в Госреестр РФ, а также новых перспективных сортов. В среднем за период исследований, в группе двурядных пленчатых у стандартного сорта Омский 95 содержание белка в зерне составило 13.2%, крахмала – 54.4%, сырого жира – 3.2%, масса 1000 зерен – 41.3 г. В данной группе все исследуемые сорта и линии характеризовались повышенной крупностью зерна (+3.4…10.1 г к st.); сорт Омский 100 отличался прибавкой по массовой доле крахмала (+2.1% к st.), линия Нутанс 4927 – белка и крахмала (соответственно +1.5 и 2.9% к st.), линия Нутанс 4925 имела повышенное содержание белка (+1.7% к st.).

В группе многорядных пленчатых стандартный сорт Омский 99 характеризовался содержанием белка на уровне 11.9%, крахмала – 53.2%, сырого жира – 2.3%; масса 1000 зерен составила 36.1 г. Все исследуемые сорта и линии отличались повышенной массовой долей белка (+1.6…2.2% к st.) и массой 1000 зерен (+11.0…13.6 г к st.). Также сорта Саша и Подарок Сибири имели достоверную прибавку по содержанию в зерне крахмала (+1.0…1.5% к st.).

В группе двурядных голозерных выделена перспективная линия Нудум 4903 (+1.5% к st. по массовой доле крахмала и +1.1 г по массе 1000 зерен).

Многорядный голозерный сорт Омский голозерный 4, отличался повышенной крахмалистостью зерна (+0.9% к st.).

Таблица

Характеристика сортов ячменя по качеству зерна, питомник КСИ, в среднем за 2019–2021 гг.

Сорт	Массовая доля белка, %	Массовая доля крахмала, %	Массовая доля сырого жира, %	Масса 1000 зерен, г
многорядные пленчатые				
Омский 99, st.	11.9	53.2	2.3	36.1
Сибирский авангард	13.9	52.0	2.1	47.1
Саша	14.0	54.2	1.6	48.1
Подарок Сибири	13.9	54.7	2.1	49.7
Омский 90	13.5	51.7	2.4	47.1
Омский 96	14.1	53.2	2.3	48.7
двурядные голозерные				
Омский голозерный 1, st.	15.5	57.4	3.3	44.9
Нудум 4903	12.1	58.9	2.7	46.0
многорядные голозерные				
Омский голозерный 2, st.	14.2	60.0	3.3	33.6
Омский голозерный 4	13.1	60.9	2.7	32.4
двурядные пленчатые				
Омский 95, st.	13.2	54.4	3.2	41.3
Омский 91	13.5	52.8	3.0	47.1
Омский 100	12.4	56.5	2.3	50.1
Омский 101	12.9	54.7	3.0	49.6
Омский 102	12.4	54.8	2.6	51.4
Нутанс 4925	14.9	54.6	2.2	45.2
Нутанс 4927	14.7	57.3	2.3	44.7
$НСР_{05}$	0.7	1.4	0.4	0.7
CV, %	16.9	18.5	17.3	18.5

Таким образом, за период исследований 2019–2021 гг. выделены 8 лучших образцов ячменя, представляющие ценность по комплексу признаков:

- Нутанс 4925: +1.7% к St по массовой доле белка; +3.9 г к St по массе 1000 зерен;
- Нутанс 4927: +1.5% к St по массовой доле белка; +2.9% к St по массовой доле крахмала; +3.4 г к St по массе 1000 зерен;
- Нудум 4903: +1.5% к St по массовой доле крахмала; +1.1 г к St по массе 1000 зерен;
- Сибирский авангард: +2.0% к St по массовой доле белка; +11.0 г к St по массе 1000 зерен;
- Саша: +2.1% к St по массовой доле белка; +1.0% к St по массовой доле крахмала; +12.0 г к St по массе 1000 зерен;
- Подарок Сибири: +2.0% к St по массовой доле белка; +1.5% к St по массовой доле крахмала; +13.6 г к St по массе 1000 зерен;
- Омский 90: +1.6% к St по массовой доле белка; +11.0 г к St по массе 1000 зерен;
- Омский 96: +2.2% к St по массовой доле белка; +12.6 г к St по массе 1000 зерен.

Литература

1. Сурин Н.А. Ячмень в Восточной Сибири (итоги и перспективы селекции): Дисс...докт.с.х.наук. Красноярск 1983. 397с.
2. Грязнов А.А. Карабалыкский ячмень. Кустанай, 1996. 448с.
3. Гаркавый П.Ф. Результаты селекции ярового и озимого ячменя // Итоги и перспективы развития сельскохозяйственной науки в СССР: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1969. С. 391-398.
4. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е. Селекция ячменя в Сибири. Новосибирск, 1993. 292 с.
5. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агро-экологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2020. № 181(4). С. 44-55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4- 44-55.

ИЗМЕНЕНИЯ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ЗЕЛЕНОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLOROMONAS RETICULATA* ПРИ АДАПТАЦИИ К ОСВЕЩЕННОСТИ И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

В.С. Паршуков[1,2], И.В. Новаковская[2], О.В. Дымова[2]

[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: mister.parschuckov@yandex.ru
[2]Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Микроводоросли относятся к важным возобновляемым сырьевым ресурсам планеты, т.к. способны синтезировать и накапливать ценные метаболиты, витамины и различные органические соединения. Начиная с конца прошлого века, ведётся поиск новых природных биологически активных веществ из микроводорослей. Это связано с растущим спросом на натуральное сырье для продуктов питания, фармацевтических препаратов и косметологии. За последние годы возрос интерес к каротиногенным микроводорослям, которые в неблагоприятных условиях (низкие температуры, UV-радиация, др.) способны накапливать вторичные каротиноиды (ВКар), не участвующие в фотосинтезе и локализованные в липидных глобулах. У ряда микроводорослей конечным продуктом биосинтеза ВКар является астаксантин (Аст) – красный пигмент из группы кислородсодержащих каротиноидов (ксантофиллов). Аст является высоко ценным биологически активным соединением. Полифункциональность физиологического действия Аст определяется его высокой антиоксидантной активностью, на порядок превышающей в системах *in vivo* активность β-каротина и α-токоферола. В клетках снежных водорослей Аст выступает в роли защитного фильтра излучения. Одним из продуцентов Аст является криофильная одноклеточная двужгутиковая зеленая водоросль *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi, которая характеризуется одноядерными эллипсоидными или яйцевидными клетками длиной 11-20 мкм и шириной 5-15 мкм, чашевидным хлоропластом с перфорациями, без пиреноида. Вид пластичен и имеет широкий ареал.

Для криофильных водорослей стресс-факторами являются субоптимальные температуры с высокими потоками фотосинтетически активной радиации (ФАР). В связи с этим целью работы было изучить комплексное воздействие света и низкой положительной температуры на накопление хлорофиллов (Хл) и каротиноидов (Кар) в клетках штамма *Ch. reticulata* при культивировании в лабораторных условиях, и выявить способность синтезировать Аст в этих условиях.

В качестве объекта использован штамм *Ch. reticulata* (SYKOA Ch-054-11). Водоросль была выделена с поверхности снега на Приполярном Урале (65°13’45.5”N, 60°13’19.4”E) (Novakovskaya et al., 2018). Клетки *Ch. reticulata* культивировали в 100 мл флаконах на среде BG 11 (pH=7.1) на шейкере со скоростью 150 об/мин при 45 мкмоль/(м^{2}с) ФАР и +22°C в течение двух недель. Соотношение день/ночь – 12/12 ч. По достижении оптической плотности OD_{680} = 0.4 нм проводили отбор проб культуры для анализа пигментов в качестве контроля. Затем культуру охлаждали до +6°C и продолжали культивировать при постоянном барботировании среды отфильтрованным атмосферным воздухом и освещении 50 мкмоль/(м^{2}с). Инкубацию в таких условиях проводили в течение 4 суток, после проводили отбор проб. Во второй части эксперимента клетки продолжали культивировать при более высокой освещенности 250 мкмоль/(м^{2}с) и той же температуре +6 °C в течение 10 суток, и вновь отбирали пробы. Для идентификации состава Хл и Кар в биомассе клеток проводили экстракцию с использованием диметилсульфоксида. Пигменты анализировали методом ВЭЖХ.

Хроматографическое разделение экстрактов зеленых (вегетативных) клеток, выращенных в биореакторе, и красных (покоящихся) клеток, собранных с поверхности «красного» снега на Приполярном Урале показало (табл. 1), что пигментный состав клеток *Ch. reticulata* сходен с другими зелеными водорослями такими как *Chlamydomonas nivalis* (Remias et al., 2005),

Haematococcus pluvialis (Chekanov et al., 2016). В клетках *Ch. reticulata* в составе фотосинтетических Кар были обнаружены: неоксантин, виолаксантин, антераксантин, лютеин, β-каротин (β-кар) и следовые количества зеаксантина (Зеа). В расчете на сухую массу наибольшая концентрация Кар накапливалась в зеленых клетках – на 20% больше, чем в красных. При этом в красных клетках преобладал β-кар (до 90%). Предполагаем, что более низкое содержание Кар в красных клетках могло быть обусловлено их частичным окислением во время транспортировки с места обитания. Преобладание в красных клетках β-кар свидетельствует о его возможной фотозащитной функции, а также как предшественника синтеза Аст в природных условиях. Присутствие Аст обнаружено как в покоящихся, так и в вегетативных клетках *Ch. reticulata*.

Таблица 1

Содержание индивидуальных каротиноидов в зеленых (I) и красных (II) клетках Ch. reticulata, мкг/г сухой массы (n=4-6)

Клетки	Пигменты							
	Нео	Вио	Ант	Лют	Зеа	β-кар	Аст	Сумма Кар
I	223±15[a]	168±10[a]	48±3[a]	210±37[a]	39±9[a]	450±132[a]	37±5[a]	1174±145[a]
II	9±3[b]	9±3[b]	7±1[b]	60±9[b]	2±1[b]	840±129[b]	22±7[b]	946±148[b]

Обозначения: Нео – неоксантин, Вио – виолаксантин, Ант – антераксантин, Лют – лютеин, Зеа – зеаксантин, β-кар–β-каротин, Аст – астаксантин, Кар – каротиноиды. Разные надстрочные символы (a, b) обозначают достоверность изменений параметра между вариантами (ANOVA, тест Дункана, $P \leq 0.05$).

В ходе эксперимента выявлено, что при температуре +6^{0}С и освещении 250 мкмоль/(м^{2}с) в зеленых клетках водоросли содержание Хл повышалось более чем в три раза (до 9±3 мг/г сухой массы), что свидетельствует о росте биомассы клеток в этих условиях. Из таблицы 2 видно, что при низкой температуре на фоне умеренного освещения в клетках отмечали значительное накопление Кар, и особенно Зеа (до 70% от суммы компонентов ксантофиллового цикла), и ВКар астаксантина (до 4% от суммы Кар). Такое же содержание Аст накапливали и вегетативные клетки *H. pluvialis* (Chekanov et al., 2016). Полученные в ходе эксперимента данные свидетельствуют об одновременном функционировании двух механизмов: фотопротекции за счет накопления Зеа и оптическом экранировании за счет синтеза Аст.

Таблица 1

Изменения относительного содержания каротиноидов в клетках Ch. reticulata при 22^{0}С и 45 мкМоль/(м^{2}с) (контроль), при 6^{0}С и 50 мкМоль/(м^{2}с) (опыт 1), при 6^{0}С и 250 мкМоль/(м^{2}с) (опыт 2), % (n=4-6)

Вариант	Нео	Вио	Аст	Ант	Лют	Зеа	β-кар	DEPS
Контроль	8.5±2.8[a]	13.8±4.3[a]	не обн.	2.4±1.0[a]	50.1±15.8[a]	1.1±0.5[a]	24.1±8.8[a]	13±3[a]
Опыт 1	6.4±0.3[a]	18.1±0.4[b]	2.8±0.1[a]	3.3±0.1[a]	48.0±1.0[a]	1.8±0.1[a]	20.0±0.3[a]	15±1[a]
Опыт 2	7.5±1.8[b]	4.6±1.4[a]	3.8±0.8[b]	2.0±0.8[b]	47.4±11.3[b]	15.0±8.4[b]	20.0±5.0[b]	72±6[b]

Обозначения: DEPS – величина степени деэпоксидации, %; не обн. – не обнаружено. Остальные обозначения как в таблице 1.

Таким образом, нами впервые получены сведения о пигментном составе клеток *Ch. reticulata* из природной популяции, собранной с поверхности снега на Приполярном Урале. В красных (покоящихся) клетках сумма каротиноидов достигала 950 мкг/г сухой массы. В условиях вегетативного культивирования в зеленых клетках водоросли при температуре +6 °С и интенсивности освещения 250 мкмоль/(м^{2}с) концентрация каротиноидов составила более 2000 мкг/г сухой массы, что в 3.5 раза выше, чем в контроле и на полтора порядка выше по сравнению с показателями, полученными в эксперименте с низкой освещенностью. Наблюдаемая при увеличении освещенности тенденция к индукции синтеза астаксантина указывает на биотехнологический потенциал исследуемого штамма.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (№№021062311434-4-1.6.11; 1.6.19 и *1021051101424-8-1.6.11;1.6.19;1.6.20*).

Литература

1. Novakovskaya I.V., Patova E.N., Boldina O.N., Patova A.D., Shadrin D.M. Molecular phylogenetic analyses, ecology and morphological characteristics of Chloromonas reticulata (Goroschankin) Gobi which causes red blooming of snow in the Subpolar Urals // Cryptogamie, Algologie, 2018. V. 39. №2. P. 199-213.
2. Remias D., Lütz-Meindl U., Lütz C. Photosynthesis, pigments and ultrastructure of the alpine snow alga Chlamydomonas nivalis // Eur. J. Phycol., 2005. V.40. №3. P.259-268.
3. Chekanov K., Lobakova E., Selyakh I., Semenova L., Sidorov R., Solovchenko A. Accumulation of astaxanthin by a new Haematococcus pluvialis strain BM1 from the White Sea coastal rocks (Russia) // Mar. Drugs, 2014. V. 12. P. 4504-4520.

ФОТОАССИМИЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВЫМ ЯРУСОМ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Д.А. Полосухина[1, 2], А.С. Прокушкин[1, 2], А.В. Махныкина[1, 2], С.В. Незнаева[2]

[1]Институт леса им. В.Н. Сукачева
E-mail: polosukhina@ksc.krasn.ru
[2]Сибирский федеральный университет

Количественная оценка фотосинтеза Земли имеет важное значение для понимания глобального углеродного цикла и климатической системы (Ryu et al., 2019, Bianchi, 2021). Согласно существующим прогнозам потепление климата в высоких широтах приводит к изменению структурно-функциональной организации биогеоценозов (Winkler et al., 2021). В арктических и бореальных экосистемах формируются механизмы адаптации к изменяющимся условиям среды. Тундровые и таежные биомы Северной Евразии выступают в качестве основных компонентов регулирования глобальных климатических процессов, депонируя значительное количество диоксида углерода атмосферы (Koven. et al., 2021).

Из-за потенциального воздействия CO_2 на глобальный энергетический бюджет и будущий климат существует острая необходимость в количественной оценке наземных источников и поглотителей углерода (Ryu et al., 2019, Winkler et al., 2021). В настоящее время, таежные и тундровые экосистемы, которые служат стоком для углерода атмосферы, в дальнейшем могут стать дополнительным источником его поступления в атмосферу (Koven et al., 2021) . В контексте наблюдаемых климатических изменений, отрицательный баланс экосистемных потоков С этих биомов прогнозируется вследствие превышения экосистемного дыхания, т.е. увеличения минерализационного потока С из почв, над его фотоассимиляцией.

При этом одним из наименее изученных компонентов лесных биогеоценозов в плане секвестирования углерода остаются подчиненные ярусы растительности, формирующие, как правило, сплошной живой напочвенный покров в бореальных лесах, а по фитомассе сопоставимый запасам фотоассимиляционного аппарата полога древостоя. В то же время, многими исследователями высоко оценивается роль бриофитов и лишайников в циклах углерода и минеральных элементов в разных сообществах (Bjerke et al., 2017). На мохово-лишайниковый ярус растительности приходится 30-94% от общей биомассы экосистем.

Целью данной работы являлось количественное определение интенсивности фотоассимиляционных потоков углерода у доминантных видов мохово-лишайникового покрова среднетаежных лесов Красноярского края. Исследование проводилось на территории Средней Сибири в зоне охвата станции высотной мачты ZOTTO (60° N, 89° E). Район исследования находится в пределах Кеть-Сымской низменности на левобережье реки Енисей. Сбор материала и измерения фотосинтеза осуществлялись в сосняках беломошном и зеленомошном. Объектами исследования были доминанты мохово-лишайникового яруса: *Cladonia stellaris* O., *Cladonia rangiferina* L., *Cetraria islandica* L., *Pleurozium schreberi* W. ex B., *Hylocomium splendens* H., *Dicranum scoparium* H. Интенсивность фотоасссимиляции CO_2 определяли на инфракрасном газоанализаторе Walz GFS-3000 (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Германия). Фотосинтетическая активность лишайников и мхов была измерена в течение вегетационного периода 2021 года.

Согласно полученным данным более интенсивной фотосинтетической активностью обладали мохообразные. С июня по сентябрь среди изученных видов мхов самые высокие значения фотоассимиляции наблюдались у вида *P. schreberi*, наименьшие — у *H. splendens*. Максимальные значения были отмечены в августе для всех изученных видов и составляют 4.36 ± 0.13 мкмоль/м²/с, а самые низкие значения фиксировали в июне. Среди лишайников наиболее фотосинтетически активен был вид *C. stellaris*, а наименее активен *C. rangiferina.* Так же как и у бриофитов, у лишайников регистрировали низкие значения в июне, а максимальные в августе. Например, интенсивность фотоассимиляции у *C. stellaris* в июне равнялась 0.11 ±0.03 мкмоль/м²/с, а в августе достигала 3.58 ± 0.08 мкмоль/м²/с.

Доминанты мохово-лишайникового покрова сохраняли высокую фотоасссимиляционную активность в течение всего вегетационного периода.

Исследование осуществлено при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта № 2021 102007845, а так же при финансовой поддержке грантов Российского Фонда Фундаментальных Исследований №18-05-60203 и № 20-44-243003.

Литература

1. Bianchi T.S. The evolution of biogeochemistry: revisited // Biogeochemistry, 2021. V.. 154. №. 2. P. 141-181.
2. Bjerke J.W. Bokhorst S., Callaghan T.V., Phoenix G.K. Persistent reduction of segment growth and photosynthesis in a widespread and important sub-Arctic moss species after cessation of three years of experimental winter warming // Functional Ecology, 2017. V. 31. P. 127-134.
3. Koven C., Aroa V.K., Cadule P., Fisher R.A. et al. 23rd Century surprises: long-term dynamics of the climate and carbon cycle under both high and net negative emissions scenarios //Earth System Dynamics Discussions, 2021. P. 1-32.
4. Ryu Y., Berry J.A., Baldocchi D.D. What is global photosynthesis? History, uncertainties and opportunities // Remote sensing of environment, 2019. V. 223. P. 95-114.
5. Winkler A. J., Myneni R.B., Hannart A. et al. Slow-down of the greening trend in natural vegetation with further rise in atmospheric CO_2 // Biogeosciences Discussions, 2021. P. 1-36.

ОКИСЛЕНИЕ ЭКЗОГЕННОГО НАД(Ф)Н МИТОХОНДРИЯМИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ: ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТКАНЕСПЕЦИФИЧНОСТЬ

Е.А. Полякова[1], О.А. Федотова[1], О.И. Грабельных[1,2], Е.В. Бережная[1]

[1]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
E-mail: polyackova.elizaveta727@yandex.ru
[2]Иркутский государственный университет

Высокая температура негативно влияет на рост и продуктивность растений. Для пшеницы смещение температурного оптимума на определенных этапах онтогенеза является критичным. На первых этапах развития, после посева, а также в период всходов и образовании стеблей, наиболее критичным является повышение температуры. Дыхание является центральным звеном, регулирующим метаболизм растительной клетки, и поэтому его устойчивость к стрессу является важным фактором для поддержания жизнедеятельности и формирования механизмов адаптации. В этих процессах участвуют альтернативные ферменты дыхания, представленные альтернативной цианид-резистентной оксидазой (АОХ) и альтернативными ротенон-нечувствительными НАДН и НАД(Ф)Н-дегидрогеназами. Предполагается, что функционирование альтернативных ферментов дыхания помогает оптимизировать фотосинтез при тепловом стрессе. «Внешние» ротенон-нечувствительные НАД(Ф)Н-дегидрогеназы являются мало изученными и вопрос о их значимости при действии неблагоприятных температур является весьма интересным и актуальным для изучения.

Целью работы являлось изучение влияния умеренного теплового воздействия и теплового шока на дыхание, содержание углеводов и вклад в дыхание «внешних» ротенон-нечувствительных НАД(Ф)Н-дегидрогеназ и АОХ в проростках яровой пшеницы на этапах всходов и прорастании.

Объект исследования – яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта «Новосибирская 29» в возрасте 4-х (стадия нахождения листа в колеоптиле) и 8-ми суток (стадия выхода второго листа), выращенных гидропонным способом на растворе ½ Кнопа при 23ºС/20ºС (16 ч день/8 ч ночь) и освещенности 200 мкмоль/(м^2 с) ФАР. Тепловой шок вызывали обработкой контрольных растений температурой 50ºС в течение 1-7 часов в условиях освещения. Умеренное тепловое воздействие на контрольные растения проходило при 37°С в течении 1-24 часов. Выращивание и тепловые обработки осуществляли в камерах «Binder» опытной станции Фитотрон СИФИБР СО РАН.

Ранее проведенные нами работы показали, что тепловое воздействие при температуре 37°С вызывало развитие индуцированной термотолерантности как у 4-, так и у 8-суточных проростков со сходными адаптационными изменениями. Показано, что 4-суточные проростки быстрее адаптировались к высокой температуре и были более устойчивы к тепловому шоку по сравнению с 8-суточными проростками (Fedotova et al., 2020).

Энергетический и углеродный обмен в растениях зависит от эффективности таких важных клеточных процессов, как фотосинтез и дыхание. Отношение фотосинтеза к дыханию влияет на содержание углеводов при высоких температурах. Тепловое закаливание при 37°С в условиях постоянного освещения приводило к накоплению водорастворимых углеводов в побегах и листьях проростков яровой пшеницы, что коррелировало с снижением интенсивности общего дыхания. Отмечалось, что содержание водорастворимых углеводов в 4-суточных проростках было в 10 раз выше содержания в 8-суточных листьях, и интенсивность дыхания была выше. При тепловом шоке (50°С в течении 4-3 часов) на 4- и 8- суточные проростки наблюдали кратковременное увеличение содержания водорастворимых углеводов, что согласовывалось со снижением общего дыхания в побегах и листьях соответственно.

С помощью полярографического анализа была изучена активность митохондрий, выделенных из побегов 4-суточных и листьев 8-суточных проростков, и были выявлены различия и сходства в скоростях окисления субстратов дыхания и активностях «внешних» ротенон-нечувствительных НАДН- и НАДФН-дегидрогеназ. Показано, что скорость окисления митохондриями экзогенного НАДН была выше, чем скорости окисления малата и НАДФН в побегах 4- и в листьях 8- суточных проростков. Таким образом, можно говорить о том, что активность «внешней» НАДН-дегидрогеназы в митохондриях как из побегов, так и из листьев проростков яровой пшеницы выше активности «внешней» НАДФН-дегидрогеназы.

В митохондриях, изолированных из побегов и листьев, подвергнутых тепловому закаливанию при 37ºС в течение 6 и 24 ч, наблюдали увеличение вклада АОХ в дыхание при окислении митохондриями малата и НАДН. Эти данные свидетельствуют о сопряженном функционировании «внешней» НАДН-дегидрогеназы с АОХ. В ответ на тепловой шок, вызванный обработкой проростков температурой 50ºС в течение 4 часов, отмечено увеличение активности «внешней» НАДФН-дегидрогеназы в митохондриях из побегов 4-суточных проростков, которая была связана с увеличением вклада в дыхание как АОХ, так и цитохром *c* оксидазы. В митохондриях листьев 8-суточных проростков при тепловом шоке были значительно снижены активности «внешних» НАДН- и НАДФН-дегидрогеназ.

Таким образом, «внешние» НАДН- и НАДФН-дегидрогеназы митохондрий участвуют в развитии теплоустойчивости яровой пшеницы, их функционирование зависит от фазы развития и активность, вероятно, является тканеспецифичной.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-1720.2020.4. В работе использовали коллекцию ЦКП «Биоресурсный центр» и оборудование ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН (г. Иркутск).

Литература

1. Fedotova O.A., Polyakova E.A., Grabelnykh O.I. Influence of high temperatures on heat tolerance and synthesis of heat shock proteins in spring wheat at the initial stages of development // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2020. V. 12. P. 179-191. DOI: 10.12731/2658-6649

СТРУКТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ ПРОВОДЯЩЕЙ ФЛОЭМЫ ПОДРОСТА *PICEA ABIES* (L.) H.KARST. ПОСЛЕ СПЛОШНОЙ РУБКИ ДРЕВОСТОЯ

А.А. Серкова, Т.В. Тарелкина, Д.С. Иванова, Л.И. Семенова

Институт леса ФИЦ Кар НЦ РАН
E-mail: serkovaaleksandra1996@yandex.ru

Структурные перестройки тканей ствола у подроста хвойных деревьев после сплошных рубок на сегодняшний день практически не исследованы. Особый интерес представляет изучение изменений, происходящих в проводящей флоэме, так как эта ткань в период своего формирования является акцептором ассимилятов, а затем, будучи полностью сформированной, сама обеспечивает транспорт ассимилятов от кроны к корням.

Для проведения эксперимента был выбран ельник черничный. В 2000 году была проведена проходная рубка, а в 2018 году – сплошная рубка с сохранением семенной куртины по краям подроста. Тем самым, образовалось 2 пробных участка – вырубка и семенная куртина. На каждом участке были отобраны по 10 деревьев подроста ели обыкновенной *Picea abies* (L.) H.Karst., близкие по возрасту (20 лет), высоте (1.25±0.03 м) и диаметру основания ствола (2.50±0.08 см). Все деревья имели хорошо развитую крону и не имели видимых повреждений. Образцы для микроскопического анализа были отобраны в период активного камбиального роста (июль 2020 года). Фиксацию образцов и изготовление поперечных срезов тканей проводили по общепринятым методикам. Измерения количественных показателей на микрофотографиях проводили с использованием программы ImageJ. Проводимость ситовидных клеток рассчитывали по формуле Хагена – Пуазёйля: $k = \pi D4/128\eta$, где D – диаметр ситовидной клетки, η – вязкость флоэмного экссудата. Значение η подбирали по таблице вязкости растворов сахарозы (Swindells et al., 1958), учитывая, что по опубликованным данным во флоэмном экссудате *Picea abies* содержится 10% сахарозы и нет других сахаров (Ziegler, Mittler, 1959). Затем значения, рассчитанные для каждой клетки, суммировали отдельно для ранней и поздней флоэмы каждого образца. Для определения доли различных типов клеток в составе ткани использовали метод сетки. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica.

Микроскопический анализ отобранных образцов показал, что у подроста на вырубке общая ширина вторичной флоэмы была достоверно выше по сравнению с подростом из семенной куртины, средние значения составили 1492.96 мкм и 1274.63 мкм соответственно. Увеличение ширины вторичной флоэмы на вырубке произошло, по-видимому, вследствие увеличения ширины годичных приростов проводящей флоэмы, т.к. ширина проводящей флоэмы у деревьев на вырубке была в 1.77 раз больше по сравнению с деревьями из семенной куртины (152.36 и 86.16 мкм соответственно). В связи с этим мы провели детальное исследование структуры проводящей флоэмы в отобранных образцах.

У ели формирование проводящей флоэмы в течение вегетационного периода проходит в два этапа. В начале вегетационного периода формируется ранняя флоэма, основную массу которой составляют крупные ситовидные клетки с широкими просветами. Во второй половине вегетационного периода формируется поздняя флоэма, для которой характерны более мелкие ситовидные клетки и больший объем паренхимы. Поскольку образцы были отобраны в середине вегетационного периода 2020 года, проводящая флоэма в них была сформирована не полностью, т.к. отложение элементов поздней флоэмы еще продолжалось. Количество клеток в радиальном ряду проводящей флоэмы на куртине и вырубке составило 5-6 шт. и 9-10 шт. соответственно. Основной вклад в увеличении ширины проводящей флоэмы на вырубке вносили ситовидные клетки поздней флоэмы.

Диаметр просвета ситовидных клеток как в ранней, так и в поздней части проводящей флоэмы был шире у подроста на вырубке по сравнению с подростом из семенной куртины (13.52 и 10.85 мкм – для ситовидных клеток ранней флоэмы и 9.95 и 8.57 мкм – для ситовид-

ных клеток поздней флоэмы соответственно). Оболочки ситовидных клеток, напротив, были несколько толще у подроста из семенной куртины по сравнению с подростом на вырубке (1.82 и 1.70 мкм – для ситовидных клеток ранней флоэмы и 2.23 и 2.06 мкм – для ситовидных клеток поздней флоэмы). Полученные данные указывают на то, что увеличение ширины проводящей флоэмы происходило как за счет увеличения количества клеток в ряду, так и за счет увеличения их размеров. В то же время, доли различных элементов в составе проводящей флоэмы не изменились, за исключением небольшого увеличения доли лучевой паренхимы у подроста на вырубке. Соотношение ситовидных клеток, аксиальной и лучевой паренхимы составило 76:13:11 на куртине и 73:12:15 на вырубке.

Чтобы оценить, как изменяется теоретическая проводимость ситовидных клеток проводящей флоэмы у подроста ели на вырубке и в семенной куртине, мы вычислили суммарную проводимость для 100 ситовидных клеток ранней и поздней флоэмы в каждом образце. У подроста на вырубке эти показатели были в 2.3 и 1.75 раз выше, соответственно, по сравнению с подростом из семенной куртины. Наши данные согласуются с результатами, полученными в опытах В.Н. Коновалова и Л.В. Зарубиной, которые показали, что через 2 года после выборочной рубки (48% по запасу) у подроста ели на участке с рубкой транспорт меченых углеродом-14 ассимилятов из кроны к корневой системе происходил более интенсивно по сравнению с подростом из контрольного древостоя (Коновалов, Зарубина, 2019; Коновалов, Зарубина, 2020).

Из всего вышесказанного можно заключить, что в условиях лучшей обеспеченности камбиальной зоны фотосинтатами у подроста на вырубке закладываются более широкие приросты проводящей флоэмы по сравнению с приростом из семенной куртины. В свою очередь, увеличение числа и размеров ситовидных клеток в проводящей флоэме создает условия для более интенсивного транспорта ассимилятов из кроны к корневой системе.

Исследование выполнялось в рамках Государственного задания Института леса КарНЦ РАН.

Литература

1. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Отток и распределение 14С-ассимилятов у ели при выборочных рубках в северотаежных фитоценозах // Лесной Журнал, 2019. № 2. С. 40-55.
2. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Транспорт, распределение и потребление 14С-ассимилятов у сосны и ели в северотаежных фитоценозах при различном световом и азотном питании // Лесной Журнал, 2020. № 4. С. 77-94.
3. Swindells J.F., Snyder C.F., Hardy R.C., Golden P.E. Viscosities of sucrose solutions at various temperatures: Tables of recalculated values. Washington, DC: US Government Printing Office, 1958. 8 p.
4. Ziegler H., Mittler T.E. Über den Zuckergehalt der Siebröhren-bzw. Siebzellensäfte von Heracleum mantegazzianum und Picea abies (L.) KARST. // Z. Für Naturforschung B, 1959. V. 14. P. 278-281.

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА МЕТАБОЛИЗМ АСКОРБАТА В РАСТЕНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ЭКСПРЕССИИ *AOX-1A*

Е.В. Силина, М.В. Кырнышева, Е.В. Гармаш

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: silina@ib.komisc.ru

Аскорбат (Asc) является самым распространенным низкомолекулярным антиоксидантом в растительной клетке. Его восстановленная форма способна обрывать реакции окисления органических молекул, принимать участие в восстановлении других низкомолекулярных антиоксидантов, напрямую реагировать со свободными радикалами. Основная функция Asc связана с его участием в качестве субстрата для функционирования аскорбатпероксидазы (APX) – ключевого антиоксидантного фермента, нейтрализующего H_2O_2 до H_2O. Поддержание пула восстановленного Asc в клетках растений обеспечивается за счет процессов регенерации и синтеза *de novo*. Регенерация окисленного Asc – дегидроаскорбата (DHA) происходит в аскорбат-глутатионовом цикле (АГЦ) и зависит от второго важного низкомолекулярного антиоксиданта – глутатиона (GSH) (Foyer, Noctor, 2011). Реакцию катализирует дегидроаскорбатредуктаза (DHAR). Синтез *de novo* связан с функционированием мЭТЦ. L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа, расположенная на внешней стороне внутренней мембраны митохондрий, передает два электрона окисленному цитохрому *c* в ЭТЦ митохондрий и превращает галактон в восстановленную L-аскорбиновую кислоту (Bartoli et al., 2006). Таким образом, функционирование мЭТЦ напрямую влияет на синтез Asc. В мЭТЦ растений в дополнении к основному энергогенерирующему цитохромному пути транспорт электронов возможен по альтернативному цианидустойчивому пути (АП) через альтернативную оксидазу (AOX). Вовлечение АП способствует поддержанию пула цитохрома *c* в более окисленном состоянии и, соответственно, синтезу Asc.

Целью нашего исследования было оценить влияние разного уровня экспрессии гена AOX на процессы метаболизма Asc в растениях *Arabidopsis thaliana* при воздействии повышенной освещенности.

В качестве объектов исследования использовали три линии *Arabidopsis thaliana*: Columbia-0 дикого типа (WT), линию XX-2 со сверхэкспрессией *AOX1a*, наиболее стрессиндуцибельного гена AOX, и антисенсовую по *AOX1a* линию AS-12. Растения выращивали в почвенной культуре с этапом стратификации при освещенности 90 мкмоль/м^2 с. Через 4 недели растения подвергали воздействию умеренно сильного света интенсивностью 500 мкмоль/м^2 с в течение 8 часов. Определяли дыхательную способность по поглощению O_2, активность АП дыхания с использованием специфических ингибиторов. Активность ферментов АГЦ и разных форм Asc и GSH анализировали с использованием спектрофотометрических методов (Nakano, Asada, 1981; Foyer, Halliwell, 1976; Hossain, Kozi, 1984; Kampfenkel, 1995; Queval, Noctor, 2007).

Среди трех линий растения линии XX-2 реагировали на повышенную освещенность более высокой дыхательной активностью, при этом вклад АП дыхания составлял почти 50% (табл. 1). В антисенсовой линии дыхание несколько усиливалось, но не за счет альтернативного компонента, как у линий WT и XX-2, а за счет усиления цитохромного пути.

При этом листья растений антисенсовой линии с подавленной экспрессией *AOX1a* содержали наибольшее количество DHA после 8 ч эксперимента (табл. 1). Тогда как в линии со сверхэкспресией AOX отмечали увеличение концентрации восстановленного Asc. Результаты свидетельствуют о том, что повышенное количество белка AOX в растениях XX-2 положительно влияет на синтез Asc.

Основными ферментами АГЦ являются APX, DHAR и глутатионредуктаза (GR). В наших экспериментах уровень активности APX, использующей Asc как субстрат для восстанов-

ления H_2O_2, в контрольных вариантах трех линий был низким (табл. 2). После 8 ч воздействия света активность фермента увеличивалась. Это свидетельствует об усилении антиоксидантной защиты в ответ на развитие окислительного стресса. Наиболее высокая активность АРХ обнаружена в линии AS-12, что свидетельствуют о возникновении компенсационных защитных механизмов в антисенсовой линии в ответ на недостаток АОХ.

Содержание GSH в антисенсовой линии, используемого для регенерации DHA, резко повышалось после 8 ч воздействия света (табл. 1). Это, скорее, связано с ослаблением активности DHAR и GR, которые окисляют и восстанавливают GSH соответственно. Увеличение концентрации GSH на фоне снижения Asc можно связать с его антиоксидантной ролью, а также расценивать как сигнал для запуска компенсаторных механизмов антиоксидантной защиты при подавлении АОХ. Известно, что соотношение GSH/GSSG в клетках растений является важным редокс сигналом для активации других защитных систем (Foyer, Noctor, 2011).

Таблица

Влияние повышенной освещенности на дыхание (мкмоль O_2/г сырой массы мин), активность антиоксидантных ферментов (мкмоль субстрата/мг белка мин) и содержание аскорбата и глутатиона (мкмоль/г сырой массы) в листьях Arabidopsis thaliana с разным уровнем экспрессии АОХ1а

Параметр	WT		XX-2		AS-12	
	0 ч	8 ч	0 ч	8 ч	0 ч	8 ч
Общее дыхание	226±26	300±10*	297±18	440±32*	274±25	349±15*
Активность АП	72±9	145±10*	132±9	229±26*	57±8	83±6*
АРХ	0.30±0.02	0.55±0.05	0.28±0.01	0.44±0.02*	0.30±0.07	0.60±0.06*
DHAR	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	0.07±0.01	0.03±0.01*
GR	0.14±0.01	0.19±0.01	0.12±0.01	0.14±0.01	0.17±0.01	0.13±0.001*
DHA /Asc	0.03	0.40	0.07	0.024	0.05	0.52*
GSSG/GSH	0.10	0.18	0.11	0.11	0.06	0.11*

* - разница между вариантами достоверна при $p \leq 0.05$.

Таким образом, нами получены данные, свидетельствующие о связи АОХ с метаболизмом Asc и роли АОХ в поддержании его пула. Сверхэкспрессия *AOX1a* обеспечивала относительно высокий уровень Asc и устойчивость растений к повышенной освещенности, а подавление АОХ приводило к накоплению DHA и развитию компенсаторных механизмов защиты от стресса. Увеличение пула DHA в антисенсовой линии указывает на развитие окислительного стресса, а повышение уровня GSH может быть сигналом для запуска других защитных систем клетки.

Работа поддержана проектом РНФ № 22-24-01082.

Литература

1. Bartoli C.G., Gómez J., Fernández L., McIntosh L., Foyer C.H. Inter-relationships between light and respiration in the control of ascorbic acid synthesis and accumulation in Arabidopsis thaliana leaves // J. Exp. Bot., 2006. V. 57. P. 1621-1631.
2. Foyer C., Holliwell B. The presence of glutathione and glutathione reductase in cloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism // Planta, 1976. V. 13. P. 21-25.
3. Foyer C., Noctor G. Ascorbate and glutathione: The heart of the redox hub // Plant Physiol., 2011. V. 155. P. 2-18.
4. Hossain M., Kozi A. Purification of dehydroascorbate reductase from spinach and its characterization as a thiol enzyme// Plant Cell Physiol., 1984. V. 25. P. 85-92.
5. Kampfenkel K., Van Montagu M., Inzé D. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate form plant tissue // Anal. Biochem., 1995. V. 225. P. 165-167.

6. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // Plant Cell Physiol., 1981. V. 22. P. 867-880.
7. Queval G., Noctor G. A plate reader method for the measurement of NAD, NADP, glutathione, and ascorbate in tissue extracts: Application to redox profiling during Arabidopsis rosette development // Anal. Biochem., 2007. V. 363. P. 58-69.

ВЛИЯНИЕ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Туманик Н.В., Семин Д.Е., Придача В.Б.

Институт леса ФИЦ КарНЦ РАН
E-mail: natali.damka@mail.ru

Одной из важнейших характеристик растений, позволяющих им выживать в разных условиях среды, является адаптация фотосинтетического аппарата. Значительную роль в этом играет качественное и количественное состояние пигментного фонда растений, поскольку хлорофиллы и каротиноиды ответственны за поглощение, передачу и преобразование световой энергии в основных реакциях фотосинтеза. Консервативный характер динамики содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений вдоль широтного градиента в условиях Европейского Севера, Южного Урала и Западной Сибири свидетельствует о наследственном контроле биосинтеза пигментов (Иванов и др., 2013; Дымова, Головко, 2019; Бендер, Горошкевич, 2020). Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одной из основных лесообразующих пород Европейского Севера. Широкое распространение сосны на территории Евразии в областях, контрастных по климатическим и лесорастительным условиям, свидетельствует о невысокой требовательности ее к почвенному плодородию, теплу и низкой чувствительности к засухам. Целью данной работы является исследование влияния разных фитоценотических условий на формирование пигментного комплекса хвои *Pinus sylvestris*.

Исследование проводили в европейской части средней тайги (Южная Карелия) на сопредельных пробных площадях (ПП), заложенных на территории отработанного песчано-гравийного карьера (Кондопожский район) и в естественной среде 100-летнего сосняка брусничного в июле 2021 г. Объектом исследования послужили 30-летние лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера весной 1991 г. Заложенные на территории рекультивированного карьера ПП отличались способом подготовки минерального песчаного субстрата: без улучшения техногенного субстрата (ПП1, 25 × 40 м) и с внесением на поверхность техногенного субстрата торфа (ПП2, 25 × 40 м). В настоящее время восстановление напочвенного покрова на ПП1 и ПП2 реализуется по типу сосняка лишайникового и черничного соответственно. В качестве контроля с естественной лесной растительностью был выбран сосняк брусничный (ПП3, 30 × 40 м), расположенный на границе карьера.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов из верхней части кроны отбирали хвою 1 и 2-го года жизни с 5-и деревьев каждой ПП в трехкратной повторности. Фиксацию растительного материала в полевых условиях и экстракцию пигментов в лабораторных условиях проводили 80% ацетоном. Определение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Россия) при длинах волн 663, 646 и 470 нм. Расчет содержания хлорофиллов (Chl *a*, Chl *b*) и каротиноидов (car) проводили согласно известным методикам (Lichtenthaler, 1987; Гавриленко, Жигалова, 2003). Долю хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК, % от общего содержания хлорофиллов) рассчитывали, приняв, что практически весь Chl *b* находится в ССК и соотношение Chl *a*/Chl *b* в нем равно 1.2 (Lichtenthaler, 1987). Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США).

Сопоставление величин показателей Chl *a*+*b*, Chl *a*/Chl *b*, ССК и (Chl *a*+*b*)/car выявило различия в хвое 1- и 2-го года жизни между исследуемыми ПП. Так, в хвое текущего года все показатели пигментного комплекса были схожими ($p > 0.05$) у деревьев сосны разных ПП. При этом содержание хлорофиллов в однолетней хвое сосны на ПП1, за исключением (Chl *a*+*b*)/car, значимо отличалось ($p < 0.05$) от величин показателей сосны на ПП2 и ПП3. Этот факт,

очевидно, можно объяснить относительно более высоким плодородием почв опытного участка с внесением торфа (ПП2) и контрольного сосняка брусничного (ПП3) относительно ПП1, что обеспечило более высокое содержание зеленых пигментов в зрелой однолетней хвое деревьев на ПП2 и ПП3. Вместе с тем, можно предположить, что на формирование пигментного фонда хвои текущего года в большей степени повлияли метеоусловия вегетационного периода. Согласно данным метеонаблюдений по г. Петрозаводску (https://rp5.ru), летний вегетационный период 2021 г. отличался аномально высокими величинами температуры воздуха за последние 5 лет на фоне длительной атмосферной засухи. Высокая температура воздуха, сопровождающаяся длительной атмосферной засухой, вероятно, выступила лимитирующим фактором для биосинтеза пигментов в хвое текущего года деревьев сосны разных ПП. Кроме того, невысокие значения показателя ССК и, напротив, высокие (Chl *a*+*b*)/car свидетельствуют в целом о низком содержании Chl *b* и каротиноидов. Поскольку Chl *b* в первую очередь необходим в условиях недостатка света (Тютерева и др., 2017) или в условиях высокого варьирования освещенности под пологом леса, то, очевидно, снижение энергетических затрат на биосинтез вспомогательных фотосинтетических пигментов позволяет растению сэкономить часть ресурсов в условиях развивающегося водного стресса. В пользу этого предположения свидетельствуют отмеченные нами низкие как предрассветные, так и полуденные величины водного потенциала охвоенных побегов сосны на опытных и контрольном участках. Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют об адаптивных изменениях пигментного комплекса хвои сосны при развивающемся водном стрессе в разных фитоценотических условиях.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Литература

1. Бендер О.Г., Горошкевич С.Н. Газообмен и содержание фотосинтетических пигментов у широтных экотипов кедра сибирского в опыте ex situ // Сибирский лесной журнал, 2020. № 5. С. 28-36.
2. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 256 с.
3. Дымова О.В., Головко Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны Европейского Северо-востока России // Физиология растений, 2019. Т. 66. № 3. С. 198-206.
4. Иванов Л.А., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале // Физиология растений, 2013. Т. 60. № 6. С. 856-864
5. Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология, 2017. Т. 52. № 5. С. 843-855.
6. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzimology, 1987. V. 148. P. 350-382.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ГЕРПЕТОФАУНЫ МОСКВЫ

А.Б. Петровский, А.Н. Решетников

Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова Российской академии наук
E-mail: meph@bk.ru
E-mail: anreshetnikov@yandex.ru

Москва является одним из крупнейших мегаполисов Европы. После присоединения в 2012 г. ряда районов, ранее относившихся к Московской области, территорию города стали делить на «старую» и «новую» Москву. Под «новой» Москвой подразумевают территории современных Троицкого и Новомосковского административных округов. Данное разделение отражено в постановлении Правительства Москвы от 19 февраля 2013 г. №79-ПП «О Красной книге города Москвы», где данные территории обозначены как «территория Москвы в границах до 2012 г.» и «присоединённая территория», что допускает присвоение обитающим в Москве видам животных двух разных категорий редкости в тексте третьего издания Красной книги Москвы. Однако вышеуказанное административное деление не всегда удобно для анализа экологии. Например, Молжаниновский и Косино-Ухтомский районы, которые расположены с внешней стороны МКАД и сравнительно мало урбанизированы, формально входят в состав «старой» Москвы, но по природным условиям и по состоянию герпетофауны более близки к присоединенным территориям.

В ходе подготовки третьего издания Красной книги Москвы был проведен анализ литературных данных и музейных коллекций, включая фонды зарубежных музеев, что позволило включить в данное издание обыкновенную медянку (*Coronella austriaca*), как отмеченную на территории современной «новой» Москвы после 1960 г. Медянка была занесена в третье издание Красной книги Москвы как вид 0-й категории, то есть предположительно вымерший. Краснобрюхая жерлянка (*Bombina bombina*) была занесена в Красную книгу Москвы с 0-й категорией редкости, что можно связать с быстрой деградацией и уничтожением биотопов, пригодных для этой амфибии. В границах «старой» Москвы в 0-ю категорию попала и веретеница колхидская (*Anguis colchica*), ранее именовавшаяся веретеницей ломкой (*Anguis fragilis*). Состояние популяции веретеницы в «новой» Москве вызывает не меньшую озабоченность, так как вид известен лишь по единичным находкам в нескольких местах обитания близ Подольска, что стало одной из причин присвоения 1-й категории редкости. Категория редкости живородящей ящерицы (*Zootoca vivipara*) в границах «старой» Москвы была изменена со 2-й на 1-ую, как следствие существенной деградации популяций этого вида в городе. Без изменений остается состояние прыткой ящерицы (*Lacerta agilis*) – 1-я категория редкости, однако наблюдается тенденция к сокращению числа мест обитания: с 2012 г. из 7 мест обитания прыткой ящерицы в Москве сохранились лишь 5. Впервые в Красную книгу была занесена с 1-й категорий редкости и обыкновенная гадюка (*Vipera berus*), находящаяся на грани вымирания в Москве. Единственным видом, состояние популяций которого не вызывает серьезных опасений, является обыкновенный уж (*Natrix natrix*), что в первую очередь можно связать с обилием кормовой базы в водоемах. В частности, обыкновенный уж питается ныне широко распространившейся инвазионной рыбой ротаном (*Perccottus glenii*), экспансия которого в водоемы Москвы представляет одну из главнейших угроз для популяций большинства видов земноводных, поскольку ведет к существенному снижению видового разнообразия в водоемах, колонизованных этой рыбой (Решетников, 2001).

Состояние популяций амфибий вызывает не меньшую обеспокоенность, нежели состояние популяций рептилий. Категория редкости ряда видов, обитающих на территории «старой» Москвы, была изменена для серой жабы (*Bufo bufo*) со 2-й на 1-ю, а для травяной лягушки (*Rana temporaria*) – с 3-й на 2-ю. Для остальных видов категории редкости остались

прежними – 1–2 категории, что говорит о критическом состоянии их популяций. Причины деградации популяций амфибий носят комплексный характер – в первую очередь это прямое уничтожение мест обитания и нерестовых водоемов. Проблема сохранения нерестовых водоемов стоит особенно остро не первое десятилетие – ещё в 1987 г. отмечали, что ключевую роль для размножения амфибий играют временные и пересыхающие водоемы, которые часто принимаются коммунальными службами как нежелательные и подлежащие уничтожению. К настоящему времени, подобные водоемы могут быть единственным пригодным местом успешного размножения для лягушек и тритонов в условиях распространения хищной рыбы ротана. Дальнейшего изучения требуют распространение и роль заболеваний, в том числе лягушачьего грибка-убийцы (*Batrachochytrium dendrobatidis*), который послужил причиной угнетения многих популяций земноводных в разных частях мира, в том числе и в Европе (Решетников, Зиброва, 2018). Нельзя не отметить роль террариумистов-любителей, подрывающих популяции бурых лягушек, собирая данных амфибий на корм домашним питомцам или же отлавливающих ящериц для домашнего содержания (Петровский, 2021). Предполагается генетическая деградация изолированных популяций (в первую очередь в «старой» Москве), вызванная инбредной депрессией. Значительную роль в угнетении популяций играет гибель животных на дорогах, где на отдельных участках в нерестовый период за день можно насчитать десятки раздавленных животных.

Все представители герпетофауны города нуждаются в безотлагательных мерах, нацеленных на их сохранение. Необходимы разработка новых методик мониторинга существующих популяций как на территориях ООПТ, так и ООЗТ, выявление и оперативное взятие под охрану новых популяций, а также создание новых мест размножения (для амфибий) и зимовок. Желательно утверждение новых дорожных знаков, которые надлежит размещать на путях миграции амфибий в периоды размножения. Необходима борьба с инвазионными видами. Для ряда видов разработаны технологии разведения в неволе, что позволяет осуществлять их реинтродукцию. Усиление борьбы с нелегальной торговлей краснокнижными видами.

Литература

1. Решетников А.Н. Влияние интродуцированной рыбы ротана *Perccottus glenii* (Odontobutidae, Pisces) на земноводных в малых водоемах Подмосковья // Журнал общей биологии., 2001. Т. 62. № 4. С 352-361.
2. Решетников А.Н., Зиброва М.Г. *Batrachochytrium dendrobatidis* Longcore, Pessier et Nichols, 1999. В кн.: Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) // Ред. Дгебуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. М.: Т-во научных изданий КМК, 2018 (688 с.), С. 52-58.
3. Петровский А.Б. Современное состояние амфибий на территории «старой» Москвы // Вопросы герпетологии: VIII съезд Герпетологического общества им. А.М. Никольского при РАН «Современные герпетологические исследования Евразии» Программа и тезисы докладов. Ред. Е.А. Дунаев, Н.А. Поярков. М.: КМК, 2021. С. 210-212.

ПЛЕНАРНАЯ

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ВИДОВ РОДА DROSOPHILA

Н.В. Земская, А.А. Москалев

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
E-mail: zemnadezhd@gmail.com

Продолжительность жизни (ПЖ), то есть способность поддерживать жизнеспособность организма длительное время, является комплексным количественным признаком, вносящим определяющий вклад в дарвиновскую приспособленность. Среди множества факторов, ограничивающих продолжительность жизни, включая несчастные случаи, голод и насильственную гибель, только старение является внутренней причиной (Москалев, 2008; Flatt, 2004; Vijg, Suh, 2005). Недостатком большинства современных исследований биологии старения является то, что генетические сравнения проводят между эволюционно далеко отстоящими друг от друга видами и многие выявленные гены, связанные со старением, могут иметь лишь отдаленное отношение к проблеме. В то время как исследование нескольких эволюционно близких видов может выявить как уникальные, так и универсальные механизмы формирования генетического разнообразия и обусловленного им различия в стрессоустойчивости и продолжительности жизни.

Целью настоящей работы являлось выявление различий в продолжительности жизни и стрессоустойчивости разных видов рода *Drosophila*. Для этого изучали продолжительность жизни и возрастную динамику плодовитости самок на стандартной питательной среде и на питательной среде с удвоенным содержанием дрожжей, а также исследовали влияние стресс-факторов различной природы (гипертермия, голодание, γ-излучение в дозе 864 Гр, действие прооксиданта параквата) на выживаемость особей разных видов дрозофил, после чего анализировали взаимосвязь продолжительности жизни с характеристиками жизненного цикла (длительность предимагинального развития, масса тела имаго, фекундность) и стрессоустойчивостью. В настоящей работе изучены 12 видов рода *Drosophila* (*D. ananassae, D. austrosaltans, D. biarmipes, D. erecta, D. kikkawai, D. melanogaster, D. pseudoobscura, D. saltans, D. simulans, D. virilis, D. willistoni, D. yakuba*), которые сформировались в эволюции в различных условиях обитания.

После расхождения от общего предка происходила адаптация видов *Drosophila* к разным условиям существования, при этом ПЖ одних видов увеличилась, других – снизилась (Schnebel, Grossfield, 1983), что подтверждается нашими результатами. Наибольшей медианной и максимальной ПЖ на стандартной питательной среде и среде с удвоенным содержанием дрожжей характеризуются самцы и самки *D. virilis.* Наименьшей медианной и максимальной ПЖ на обеих средах характеризуются самцы *D. kikkawai* и *D. biarmipes*. Среда с удвоенным содержанием дрожжей в большинстве изученных видов у самцов (8 из 12) привела к статистически значимому снижению медианной (1.5 – 30%) и максимальной (4.5 – 18.6%) ПЖ. У самок в большинстве случаев среда с повышенным содержанием дрожжей привела к статистически значимому увеличению медианной (15–47.9%) или максимальной (10.8–16.7%) ПЖ. Возможно, что увеличение ПЖ самок в ответ на увеличение содержания дрожжей обусловлено видо- и полоспецифическими потребностями к составу питательной среды (Земская и др., 2017).

Одним из критериев, по которому можно судить о качестве жизни, является поддержание репродукции. Поэтому мы изучили влияние состава диеты на плодовитость (фекундность –

среднее количество яиц на самку в сутки) самок разных видов рода *Drosophila*. В результате проведенных экспериментов установили, что на питательной среде с одинарным содержанием дрожжей наибольшей кумулятивной фекундностью характеризуются особи видов *D. yakuba* и *D. melanogaster*, а наименьшей – короткоживущие *D. kikkawai* и долгоживущие *D. virilis*. На среде с удвоенным содержанием дрожжей наибольшей кумулятивной фекундностью обладают особи видов *D. melanogaster* и *D. simulans*, а наименьшей – *D. ananassae*. Также было показано, что увеличение количества дрожжей в питательной среде может приводить как к увеличению фекундности, так и к ее снижению (Земская и др., 2017).

Все организмы подвержены влиянию факторов окружающей среды, которые в определенных условиях могут вызывать стрессовое состояние организма. Увеличение ПЖ у долгоживущих видов может происходить за счет повышения активности механизмов стрессоустойчивости клетки (MacRae et al., 2015). В связи с этим, мы провели анализ устойчивости дрозофил к разным типам неблагоприятных воздействий (действие прооксиданта параквата, устойчивость к гиепртермии, голоданию и γ-излучению). Наиболее устойчивые ко всем видам стресса оказались долгоживущие особи *D. virilis* и *D. saltans*, а наименее устойчивы – короткоживущие *D. kikkawai*. В то же время, долгоживущие особи *D. virilis* были наиболее чувствительными к воздействию острого ионизирующего излучения (что сложно объяснить на сегодняшний день), а самыми устойчивыми к данному виду воздействия были особи *D. saltans* и *D. simulans* (Земская и др., 2017).

Различия в максимальной ПЖ разных видов часто связаны с различиями в скорости метаболизма, метаболическом потенциале и уровне окислительного стресса. Как предсказывает теория антагонистической плейотропии, замедленное старение должно быть связано с медленным индивидуальным развитием. Действительно, длительность предимагинальных стадий развития самок имела положительную корреляцию с максимальной ПЖ. Однако у самцов не выявлено статистически значимой связи между этими показателями. Известно, что длительность личиночной стадии развития дрозофил, в течение которой происходит рост организма, определяет конечные размеры тела имаго, так, у исследованных нами видов дрозофил наблюдали высокую положительную корреляцию максимальной ПЖ со средней массой тела, как самцов. Кроме того, наблюдали отрицательную корреляцию медианной ПЖ и средней яйцепродукции. При этом наблюдали высокую статистически значимую положительную корреляцию между максимальной ПЖ и устойчивостью к неблагоприятным воздействиям, как у самцов, так и у самок. Без учета D. virilis у самок наблюдалась высокая положительная корреляция между максимальной ПЖ и устойчивостью к ионизирующему излучению (Земская и др., 2017).

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» (№ 122040600022-1).

Литература

1. Земская Н.В., Шапошников М.В., Москалев А.А. Взаимосвязь продолжительности жизни с характеристиками жизненного цикла и стрессоустойчивостью у 12 видов рода Drosophila // Успехи геронтологии, 2017. Т. 30. № 2. С. 192-199.
2. Москалёв А.А. Старение и гены. СПб.: Наука, 2008. 359 с.
3. Flatt T. Assessing natural variation in genes affecting Drosophila lifespan // Mech Ageing Dev., 2004. Vol. 125. № 3. P. 155-159.
4. MacRae SL, Zhang Q, Lemetre C, Seim I, Calder RB, Hoeijmakers J, Suh Y, Gladyshev VN, Seluanov A, Gorbunova V, Vijg J, Zhang ZD. Comparative analysis of genome maintenance genes in naked mole rat, mouse, and human // Aging Cell., 2015. Vol. 14. № 2. P. 288-291.
5. Schnebel E.M., Grossfield J. A comparison of life span characteristics in Drosophila // Exp Gerontol., 1983. Vol. 18. № 5. P. 325-337.
6. Vijg J, Suh Y. Genetics of longevity and aging // Annu Rev Med., 2005. Vol. 56. P. 193-212.