

Национальная академия наук Беларуси  
Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича  
Национальной академии наук Беларуси  
Национальный парк «Браславские озера»  
Общественное объединение «Ботаническое общество»  
Совет молодых ученых

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ



Сборник материалов  
IV Международной научной конференции молодых ученых  
(Минск – Браслав, 16 – 18 сентября 2025 г.)

Минск  
«ИВЦ Минфина»  
2025

УДК 58(082)  
ББК 28.5я43  
С56

**Современные проблемы экспериментальной ботаники : материалы IV Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск – Браслав, 16–18 сент. 2025 г.) / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2025. – 278 с.  
ISBN 978-985-880-636-1**

В сборник включены материалы IV Международной научной конференции молодых ученых «Современные проблемы экспериментальной ботаники». Представлено 2 пленарных доклада и 87 материалов докладов 182 авторов из Абхазии, Азербайджана, Беларуси, Вьетнама, Китая, России, Туркменистана и Узбекистана, представляющих 42 организации науки, охраны природы и образования.

В материалах представлены результаты изучения биологического разнообразия и систематики сосудистых растений, мохообразных, грибов, лишайников и водорослей, вопросы их охраны, геоботанические и экологические исследования, эксперименты и опыты в области молекулярно-генетических исследований, физиологии, биохимии и биотехнологии.

**УДК 58(082)  
ББК 28.5я43**

**ISBN 978-985-880-636-1**

© Государственное научное учреждение  
«Институт экспериментальной ботаники  
имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси»,  
2025

## СОДЕРЖАНИЕ

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Функциональное разнообразие растительных сообществ как инструмент в поиске механизмов формирования фитоценозов

**Кораблёв А. П.** ..... 10

Молекулярно-генетические методы, используемые в исследовании и систематике растений

**Пантелеев С. В., Константинов А. В., Кирьянов П. С., Падутов А. В., Лебедько В. Н., Савчук С. С.** ..... 15

СЕКЦИЯ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА, ДИНАМИКА, ЭКОЛОГИЯ И  
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ, КАРТОГРАФИЯ  
РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Влияние условий произрастания *Vaccinium myrtillus* L. на урожайность ягод (результаты за 2024 г.)

**Амиралиева Л. В., Геникова Н. В.** ..... 18

Особенности ценофлоры травяных сообществ железных дорог Минского района

**Васюк С. И., Куликова Е. Я.** ..... 21

Инвазивные патогены в лесах Национального парка «Браславские озера»: диагностика, распространение и меры защиты

**Волошина Е. Р.** ..... 24

Возможности дешифрирования сообществ с доминированием *Juniperus communis* L. средствами дистанционного зондирования земли: методика и модельные объекты

**Гомолко А. А., Сенько Е. А.** ..... 27

Сосново-еловые леса заказников Санкт-Петербурга: результаты 15-летнего мониторинга

**Добронравина В. Н., Волкова Е. А., Храмцов В. Н., Кушневская Е. В.** ..... 29

Отклик *Galium verum* к агрохимическим характеристикам почвы на луговой катене в долине реки Неман

**Дятчик А. С., Созинов О. В.** ..... 31

Фотосинтетическая активность фитопланктона при различной освещенности и солености на примере населения прибрежного меромиктического озера Еловое

**Иванова Д. А., Лабунская Е. А., Воронов Д. А., Лобышев В. И., Радченко И. Г., Краснова Е. Д.** ..... 34

Структура фитопланктонных сообществ как индикатор трофического состояния озёр Белорусского Поозерья

**Карпаева А. Ю.** ..... 37

Изучение видового разнообразия стволовых нематод в насаждениях, поврежденных ветровалами в 2024 году

**Кобзарь-Шпиганович А. В.** ..... 40

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Асаблівасці дынамікі радыяльнага прыросту дрэў <i>Pinus sylvestris</i> на больш і менш асушаных верхавых балотах                                                                          |    |
| <b>Комар А. Ю.</b> .....                                                                                                                                                                  | 42 |
| Асаблівасці фарміравання радыяльнага прыросту дрэў <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. ва высокаўзроставак чорнаальховых дрэвастоях на тэрыторыі НП «Белавежская пушча»                   |    |
| <b>Комар С. А., Комар А. Ю., Алейнікаў С. А., Белаконь В. С., Пянькевіч А. У.</b> .....                                                                                                   | 44 |
| Совместное действие нанопластика и различных загрязняющих веществ на организмы фитопланктона                                                                                              |    |
| <b>Лазарева А. М., Ипатов В. И.</b> .....                                                                                                                                                 | 47 |
| Экспансія асабо опасных травянистых инвазивных видов растений в бассейне реки Сож в Беларуси: инвентаризация, динамика, прогнозирование распространения и организация системы мониторинга |    |
| <b>Лапицкий В. М.</b> .....                                                                                                                                                               | 50 |
| Опыт картографирования растительного покрова на северо-западном побережье озера Иссык-Куль (Кыргызская Республика)                                                                        |    |
| <b>Леготин М. Е., Чечельницкая В. А.</b> .....                                                                                                                                            | 54 |
| Фенологические фазы лиственницы                                                                                                                                                           |    |
| <b>Мартыненок А. А., Фетисов Д. С., Мельник П. Г.</b> .....                                                                                                                               | 57 |
| Опыт проведения биологической рекультивации на территории выработанного месторождения минерального сырья                                                                                  |    |
| <b>Маслюков Е. А., Лешков А. А.</b> .....                                                                                                                                                 | 60 |
| Дендрохронологический анализ сосновых насаждений с подлесочным ярусом, сформированным иргой колосистой ( <i>Amelanchier spicata</i> )                                                     |    |
| <b>Моцный В. В., Гомолко А. А.</b> .....                                                                                                                                                  | 63 |
| Высоковозрастные деревья Минска: результаты мониторинга состояния и анализ факторов повреждения                                                                                           |    |
| <b>Нестюк А. М., Вознячук И. П.</b> .....                                                                                                                                                 | 66 |
| Особенности распределения водорослей и цианобактерий в профиле почвы агроценоза ячменя                                                                                                    |    |
| <b>Новикова А. А., Бачура Ю. М.</b> .....                                                                                                                                                 | 70 |
| Структура базы данных для инвентаризации и мониторинга редких и уникальных объектов растительного мира г. Минска                                                                          |    |
| <b>Полячок Т. С., Вознячук И. П.</b> .....                                                                                                                                                | 74 |
| Определение динамики лесной растительности на основе использования современных инструментов моделирования                                                                                 |    |
| <b>Роговский Н. М.</b> .....                                                                                                                                                              | 77 |
| Экологические особенности рудеральных сообществ залежных земель Полоцкого района                                                                                                          |    |
| <b>Романюк А. С., Куликова Е. Я.</b> .....                                                                                                                                                | 80 |
| Изменение растительной биомассы травяного низинного болота Споровское при кошении и пирогежном воздействии                                                                                |    |
| <b>Рымша О. С., Зеленкевич Н. А.</b> .....                                                                                                                                                | 83 |

Ресурсный потенциал сосняков мшистых Гродненской Пуши на примере *Vaccinium vitis-idaea*

**Садковская А. И., Созинов О. В.** ..... 87

Оценка влияния копытных на состояние естественного возобновления лесных фитоценозов в охотничьем вольере Пашуковского лесничества Гпу Нп «Беловежская пуца»

**Самусенко В. А.** ..... 91

Фитофторозы ольхи в Беларуси и методы диагностики их возбудителей

**Сандрыгайло А. В., Звягинцев В. Б., Иващенко Л. О.** ..... 95

Оценка антагонистической активности сапротрофной микобиоты листового опада ясеня по отношению к инвазивному патогену *Hymenoscyphus fraxineus*

**Тарлецкий Е. В., Иващенко Л. О., Звягинцев В. Б.** ..... 97

Морфолого-физиологические параметры хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в северной подзоне тайги Европейской части России

**Третьякова Е. С., Сидорова О. В.** ..... 100

Разнообразие цианобактерий, ассоциированных с пионерными мхами в Ленинградской области

**Хайретдинова В. О., Величко Н. В., Кушневская Е. В., Смирнова Е. В.** ... 103

Придорожные фитоценозы с доминированием *Plantago coronopus* L.

**Шавалда Е. С.** ..... 106

Конспект вида *Inula grandis* во флоре Узбекистана

**Эрматова Г. З.** ..... 110

## СЕКЦИЯ 2. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ, МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Biological absorption coefficient of some heavy metals of orchis purpurea distributed in the territory of Gusar district of Azerbaijan

**Alaskarova F. E., Gumbatova M. Kh., Gadimov A. G.** ..... 114

Extraction and pharmaceutical potential of exosome-like nanoparticles from *Paederia scandens*

**Peng Y., Demidchik V. V.** ..... 117

Micrnas from exosome-like nanoparticles isolated from *Nauclea officinalis* target human genes and alleviate lipid deposition in HepG2 hepatocyte

**Peng Y., Demidchik V. V., Zuo J.** ..... 120

Nitrate reductase activity of cowpea infected with trichoderma and grown in saline environment

**Rahimova S. N., Eyvazova G., Gadimov A. G., Alaskarova F. E.** ..... 124

The phenomenon of plasmolysis during plant osmotic adjustment: cellular and molecular mechanisms

**Zhao K., Demidchik V. V.** ..... 127

Морфо-биохимические реакции микрозелени портулака огородного (*Portulaca oleracea* L.) на солевой стресс

**Абрашкина У. Я., Скрыпник Л. Н.** ..... 130

|                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Витаминный состав плодов интродуцируемых сортов <i>Lonicera caerulea</i> L. в условиях Беларуси                                                                                                            |     |
| <b>Авраменко С. Н., Лапченко Е. А., Онуфрейчик В. А.</b> .....                                                                                                                                             | 133 |
| Влияние засоления на рост чубушника венечного ( <i>Philadelphus coronarius</i> ): стандартизированный экспресс-тест с использованием микроклонов                                                           |     |
| <b>Алексеева М. И., Шевцова А. А., Черныш М. А., Соколик А. И., Демидчик В. В.</b> .....                                                                                                                   | 136 |
| Выходящий поток электролитов из клеток корня <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh. опосредован функционированием редокс-регулируемых калиевых каналов GORK и анионных каналов ALMT1                      |     |
| <b>Гриусевич П. В., Самохина В. В., Михалёва Т. Д., Кошель С. А., Королевич А. Э., Житомирская А. Л., Николаенок В. А., Зайцева В. О., Демидчик В. В.</b> .....                                            | 139 |
| Индукующее действие нанокompозита хит-Ag в сочетании с <i>Bacillus subtilis</i> 47 на активность генов Pr-белков у растений картофеля при вирусном заражении                                               |     |
| <b>Еловская Н. А., Рыбинская Е. И.</b> .....                                                                                                                                                               | 142 |
| Влияние суспензии хлореллы на морфолого-физиологические показатели проростков фасоли обыкновенной                                                                                                          |     |
| <b>Емельянова А. В., Пашкевич А. В.</b> .....                                                                                                                                                              | 145 |
| Влияние стимуляторов роста на укоренение черенков калины обыкновенной ( <i>Viburnum opulus</i> ), форзиции европейской ( <i>Forsythia europaea</i> ), дёрна белого ( <i>Cornus alba</i> )                  |     |
| <b>Зайцева Д. Д.</b> .....                                                                                                                                                                                 | 148 |
| Возрастные изменение анатомического строения стебля картофеля и возможная роль ауксина в регенерации                                                                                                       |     |
| <b>Карпачева Е. В., Фенерова П. Ю., Фролов К. Б.</b> .....                                                                                                                                                 | 151 |
| Морфогенетический потенциал эксплантов березы различных таксонов в условиях абиотических стрессов <i>in vitro</i>                                                                                          |     |
| <b>Константинов А. В., Осипенко Н. В., Полевинова Е. Н., Куфко И. Э., Куделина Т. Н.</b> .....                                                                                                             | 154 |
| Динамика содержания фотосинтетических пигментов в растениях из рода <i>Impatiens</i> L.                                                                                                                    |     |
| <b>Коржова Д. С., Карасёва Е. Н.</b> .....                                                                                                                                                                 | 157 |
| Динамика накопления биологически активных соединений в микрозелени свёклы в условиях бихроматического LED-освещения с различным соотношением красного и синего диапазонов                                  |     |
| <b>Кугач В. А., Скуратович Т. А., Куделина Т. Н., Молчан О. В.</b> .....                                                                                                                                   | 159 |
| Оценка ростовых процессов <i>Arabidopsis thaliana</i> дикого типа и мутантов <i>wei8-1tar1-1</i> и <i>Ahk2</i> при варьировании соотношения красного и синего диапазонов в полихроматическом LED освещении |     |
| <b>Куделина Т. Н., Кривобок А. С., Бибикина Т. Н., Молчан О. В.</b> .....                                                                                                                                  | 162 |

|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ростовые и биохимические параметры растений базилика тонкоцветного при варьировании состава корнеобитаемой среды и интенсивности освещения                                              |     |
| <b>Куделина Т. Н., Молчан О. В.</b> .....                                                                                                                                               | 165 |
| <i>In silico</i> идентификация и анализ экспрессии генов антимикробных пептидов ячменя ( <i>Hordeum vulgare</i> ) в ответ на инфицирование патогенными грибами                          |     |
| <b>Лазаревич Д. К., Иванов О. А.</b> .....                                                                                                                                              | 168 |
| Биологические особенности прорастания семян представителей рода <i>Lycium</i> в лабораторных условиях                                                                                   |     |
| <b>Лапченко Е. А.</b> .....                                                                                                                                                             | 171 |
| Влияние солевого стресса на синтез антиоксидантов в каллусных культурах портулака огородного ( <i>Portulaca oleracea</i> L.)                                                            |     |
| <b>Макшеева В. А., Скрыпник Л. Н.</b> .....                                                                                                                                             | 174 |
| Мониторинг генетического разнообразия генофонда коллекции пшеницы <i>Triticum</i> L.                                                                                                    |     |
| <b>Матыс И. С., Маркевич И. М., Жачкина Н. Н., Алекперова Е. М., Савенков П. Ю.</b> .....                                                                                               | 177 |
| Влияние нанокмполитов полисахарид-серебро на биохимические показатели растений ячменя, инфицированных возбудителем <i>Bipolaris sorokiniana</i>                                         |     |
| <b>Минчук Е. В., Величко Н. И.</b> .....                                                                                                                                                | 180 |
| Разработка вектора для гетерологической экспрессии ионных каналов семейства CNGC в клетках НЕК293 и его клонирование в <i>Escherichia coli</i>                                          |     |
| <b>Муравицкая А. О., Чернявская Е. А., Гриусевич П. В., Демидчик В. В.</b> ...                                                                                                          | 183 |
| Влияние инкрустации семян пленкообразующими составами на основе поливинилацетата в органическом растворителе на устойчивость растений кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.) к солевому стрессу |     |
| <b>Небышинец П. А., Самович Т. В.</b> .....                                                                                                                                             | 185 |
| Биотехнологические аспекты индукции и морфологической характеристики каллусной культуры <i>Spinacia oleracea</i> L. сорта «Крепыш»                                                      |     |
| <b>Онуфрейчик В. А.</b> .....                                                                                                                                                           | 190 |
| Значение биологических средств в защите и профилактике болезней растений                                                                                                                |     |
| <b>Палязова Я. З., Карриева Р. Б.</b> .....                                                                                                                                             | 193 |
| Влияние кремний-содержащих наночастиц на антиоксидантную систему проростков пшеницы при внекорневой обработке                                                                           |     |
| <b>Полевик Е. А., Молчан О. В.</b> .....                                                                                                                                                | 195 |
| Биотехнологические особенности размножения сортов ежевики                                                                                                                               |     |
| <b>Потапова Ю. А., Голышев С. Н., Никитина А. В.</b> .....                                                                                                                              | 198 |
| Влияние нанокмполитов хитозан-серебро с разной структурой и соотношением компонентов на всхожесть семян томата и биометрические параметры                                               |     |
| <b>Рыбинская Е. И.</b> .....                                                                                                                                                            | 203 |
| Накопление активных форм кислорода в клетках корней <i>Arabidopsis thaliana</i> под действием наночастиц оксидов меди и железа                                                          |     |
| <b>Сазоненко М. Д., Челядинский В. И., Чирская А. И., Герман А. Д., Самохина В. В., Мацкевич В. С.</b> .....                                                                            | 206 |

Восприимчивость растений рода *Solanum* к *Clavibacter michiganensis* с дифференциальной вирулентностью и отбор генов-кандидатов PR-белков для оценки их роли в защитных реакциях

**Сидорченко Е. С., Иванов О. А.**..... 209

Экспрессия гена *PR1* в тканях растений картофеля устойчивого и неустойчивого сортов при заражении фитофторой и действии экзогенных модуляторов сигнальных путей

**Смирнов А. А., Кабачевская Е. М.**..... 212

Применение препаратов, обладающих гербицидной активностью, и их баковых смесей для ограничения распространения и искоренения *Conyza canadensis* L.

**Фролова Т. В., Карасёва Е. Н.**..... 215

Амилолитическая активность психрофильных и психротолерантных микромицетов восточной антарктиды

**Цвирко Е. Д., Иванов О. А., Полянская С. Н.** ..... 217

Анализ воздействия редокс-активных тяжелых металлов на ростовые процессы у высших растений

**Челядинский В. И., Галюта И. С., Герман А. Д., Гордых С. А.,**

**Чирская А. И., Козел А. В., Самохина В. В., Мацкевич В. С.**..... 220

Эффект брассиностероидов, введенных в культивационную среду, на ростовые процессы и метаболитом протокормов орхидей *Phalaenopsis* spp. Blume в условиях *in vitro*

**Черныш М. А., Ячник А. В., Жабинский В. Н., Хрипач В. А., Фролова Н. В.,**

**Фролов А. А., Демидчик В. В.** ..... 223

Накопление глицинбетаина в хвое ели и сосны обыкновенной в условиях водного дефицита

**Шевцов Н. А., Иванов О. А., Полянская С. Н.** ..... 226

### СЕКЦИЯ 3. ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ, МОХООБРАЗНЫХ, ГРИБОВ, ЛИШАЙНИКОВ И ВОДОРΟΣЛЕЙ, РЕДКИЕ ВИДЫ, ПРОБЛЕМА ИХ ОХРАНЫ И УСТОЙЧИВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Conservation and development of *Sindora tonkinensis* Chev. ex K. Larsen & S.S. Larsen at Hon Ba Nature Reserver, Vietnam

**Dang V. H., Potokin A. F.** ..... 229

Комплексное обследование жилого помещения, пораженного грибами-деструкторами

**Алейников С. А.** ..... 232

Ресурсный потенциал и экономическая оценка сырья *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. в Беларуси

**Амбросова А. П., Сысой И. П.**..... 236

Сравнительный анализ морфогенетических и биохимических показателей моркови посевной при однократной и повторяющейся гравистимуляции

**Багрецова М. Р., Смолянина С. О., Тараканов И. Г.** ..... 239

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Структурные и генетические аспекты взаимодействия некоторых представителей рода <i>Monarda</i> с микоагентами                                          |     |
| <b>Булавин И. В., Солдатов Д. К., Феськов С. А.</b> .....                                                                                              | 242 |
| Изменение цитоплазматической активности $\text{Ca}^{2+}$ в корнях <i>Arabidopsis thaliana</i> при обработке тяжелыми металлами                         |     |
| <b>Гордых С. А., Бартошевич М. С., Челядинский В. И., Чирская А. И., Муравицкая А. О., Алексеева М. И., Мацкевич В. С., Демидчик В. В.</b> .....       | 245 |
| Исследование микобиоты белорусской станции «Гора Вечерняя» (Восточная Антарктида)                                                                      |     |
| <b>Карманова В. В.</b> .....                                                                                                                           | 248 |
| Санитарное состояние хвойных г. Кобрин                                                                                                                 |     |
| <b>Козаков И. С., Левковская М. В.</b> .....                                                                                                           | 251 |
| Эффективное производство микрорезлени бораго, пажитника, подсолнечника и редиса в условиях аномальных свето-темновых циклов                            |     |
| <b>Левкин И. А., Шерудило Е. Г., Рубаева А. А., Нилова И. А., Шибеева Т. Г.</b> .....                                                                  | 254 |
| Введение в культуру <i>in vitro</i> гинкго двулопастного ( <i>Ginkgo biloba</i> L.)                                                                    |     |
| <b>Лосев Е. Л., Дитченко Т. И.</b> .....                                                                                                               | 256 |
| Таксономический состав диатомовых водорослей фитопланктона Вилейского водохранилища в октябре 2024 года                                                |     |
| <b>Петров В. Н., Романюк А. С.</b> .....                                                                                                               | 259 |
| Биологическое разнообразие лишайников и близкородственных грибов в дубравах и черноольховых лесах заказника «Старобинский» (Минская область, Беларусь) |     |
| <b>Свирид А. П.</b> .....                                                                                                                              | 262 |
| Морфология пыльцы некоторых медоносных видов семейства <i>Rosaceae</i> Северо-Запада России                                                            |     |
| <b>Скомаха А. Д.</b> .....                                                                                                                             | 265 |
| Анализ экологических факторов и ценотической приуроченности охраняемых видов мхов эвтрофных болот Беларуси                                             |     |
| <b>Христюк-Макарова Я. А., Чумаков Л. С.</b> .....                                                                                                     | 268 |
| Некоторые редкие виды мхов Республики Абхазия                                                                                                          |     |
| <b>Цвижба Р. А.</b> .....                                                                                                                              | 270 |
| РАСТЕНИЕ 2025 ГОДА В БЕЛАРУСИ.....                                                                                                                     | 273 |
| ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО» .....                                                                                                 | 275 |
| АВТОРЫ.....                                                                                                                                            | 276 |

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ КАК  
ИНСТРУМЕНТ В ПОИСКЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ

Кораблёв А. П.

ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург,  
Российская Федерация  
e-mail: akorablev@binran.ru

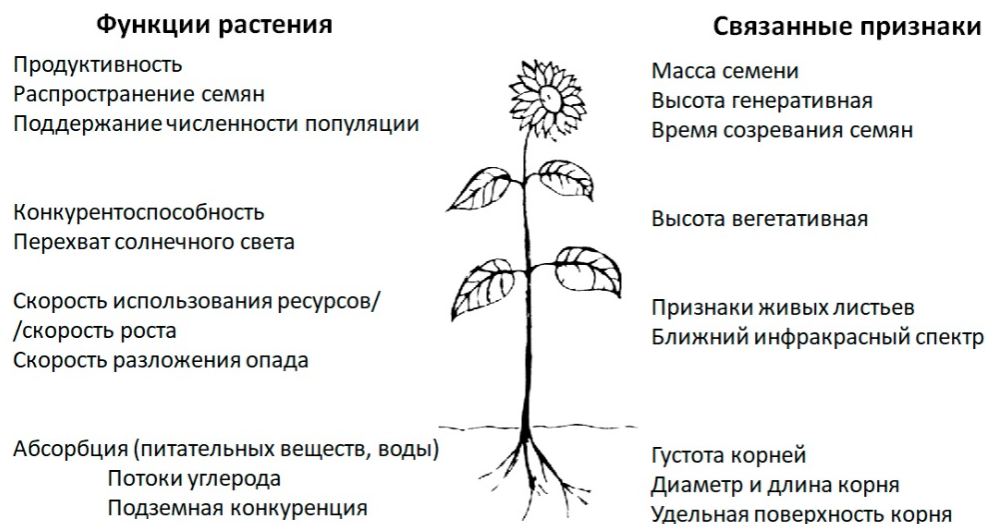
*Рассмотрены понятия функциональных признаков растений и функционального разнообразия растительных сообществ. Приводится краткий алгоритм выявления движущих сил в формировании сообществ: фильтрации среды и дифференциации ниш на основе нулевых моделей и стандартизированной величины эффекта. Приводится список актуальной литературы.*

Идея связи формы и физиологии растений с экологическими факторами не нова. Такие ученые, как Александр фон Гумбольдт, К. Шимпер, Л. Г., Раменский, К. Раункиер, И. Г. Серебряков, Дж. Ф. Грайм разделяли растения на группы по их облику, физиологии и адаптациям. Представленность в фитоценозе той или иной группы растений, так называемых функциональных групп или функциональных типов, дает нам представление об экологических условиях, в которых оно развивалось. Однако простое деление растений в фитоценозе на группы – классификационные единицы, – накладывает ряд ограничений на математические операции при сравнении разных сообществ. Развитие статистического аппарата в экологии, а также необходимость в решении актуальных экологических вопросов побудили исследователей к поиску новых методических подходов. Так появилась концепция признаков видов, или функциональных признаков – тех признаков организмов (не только растений), которые определяют функционирование сообществ и экосистем и отражают адаптации видов.

Функциональная экология (Functional ecology, Trait-based ecology), как отдельное методологическое направление в геоботанике и экологии растений начало активно развиваться на рубеже XX–XXI веков [5]. Тогда на смену функциональным группам начали приходить количественные признаки: высота растения, площадь листа, удельная листовая поверхность, масса семени и т. д. Согласно П. Кэлоу [1], признак (trait) – любая морфологическая, физиологическая или фенологическая наследуемая характеристика, оцениваемая на уровне индивидуума, от клеточного уровня до организменного. Функциональный признак (functional trait) – компонент фенотипа организма, который определяет реакцию организма на факторы окружающей среды и эффект этого организма на экосистемные процессы. То есть функциональные признаки имеют определенную связь с экологическими условиями местообитания и либо выступают индикаторами этих условий (например, высота растения связана с температурным режимом среды), либо влияют на функционирование биогеоценоза (например, скорость разложения опада и содержание азота в листе определяют скорость биологического круговорота) (рисунок 1). Признаки растений отражают их адаптации к перенесению неблагоприятных условий, распространению, конкуренции (таблица 1).

Многие признаки растений скоррелированы между собой. С. Диаз с соавторами [3] проанализировали 6 основных признаков у более чем 46 тыс. видов растений и выявили две независимо варьирующих группы признаков. Первая ось варьирования сопряжена с размерными характеристиками всего растения и его органов (высота растения, масса семени). Со второй осью связаны содержание азота в листе и удельная листовая поверхность (отношение площади свежего листа к его сухой массе), которые отражают так называемый «экономный спектр» – это баланс между высокой скоростью роста и устойчивостью растения

к неблагоприятным факторам. Свойство скоррелированности признаков между собой использовали С. Пирси с соавторами [10], разработав на основе метода главных компонент калькулятор, который по значениям трех признаков листьев позволяет установить экологическую стратегию Раменского-Грайма для вида в системе трех координат.



**Рисунок 1 – Примеры функций растения и связанных с ними функциональных признаков.**  
Воссоздана по: [4]

**Таблица 1 – Некоторые признаки растений и их значение в жизнедеятельности**

| Признак                                                                        | Его значение                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Регенерационные признаки:                                                      |                                                                                                                                |
| Сухая масса семени                                                             | дальность распространения, способность семян к сохранению всхожести, успешность приживаемости в неблагоприятных условиях и др. |
| Тип распространения плодов                                                     | дальность и векторы расселения растений                                                                                        |
| Признаки, определяющие устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды: |                                                                                                                                |
| Жизненная форма                                                                | показывает габитус растения и отражает условия местообитаний                                                                   |
| Тип корневой системы                                                           | отражает способность выживания растений в условиях нарушений и подвижного грунта                                               |
| Наличие корневища                                                              |                                                                                                                                |
| Плотность расположения надземных побегов                                       |                                                                                                                                |
| Признаки, отражающие скорость роста и потребления ресурсов:                    |                                                                                                                                |
| Удельная листовая поверхность (specific leaf area, SLA)                        | отражает относительную скорость роста, интенсивность фотосинтеза, продолжительность жизни листьев, скорость разложения опада   |

Применение в геоботанических исследованиях подхода, основанного на признаках, требует два набора табличных данных: стандартные геоботанические описания с обилиями видов и таблицу со значениями отдельных признаков для каждого вида. На основе этих данных вычисляют меры функционального разнообразия для каждого описания. Во многих исследованиях в расчетах участвуют лишь наиболее обильные виды, составляющие не менее 80% общей численности в сообществе [7]. Это позволяет снизить шум и уменьшить число видов, признаки для которых необходимо измерить или получить из баз данных.

Информацию о признаках видов можно получить двумя путями: либо измерить их самостоятельно (что предпочтительно), либо получить из баз данных (желательно по географически близкому региону). При самостоятельном измерении не обязательно приурочивать отбор образцов к местам геоботанических описаний. Достаточно лишь оценивать признаки у здоровых, нормально развитых особей, произрастающих в районе

исследований в типичных для них местообитаниях. Существуют стандартизированные методики измерения признаков и отбора проб [8]. Также имеются открытые международные базы данных и агрегаторы, из которых можно получить значения интересующих признаков для видов (например, [9]).

При изучении функционального разнообразия очень важный вопрос – какие признаки включить в исследование? Ведь от этого будут зависеть значения метрик функционального разнообразия. Во-первых, в исследования рекомендуют включать признаки, охватывающие разные оси варьирования признаков [3], [11]. Во-вторых, включать те признаки, которые наиболее связаны с изучаемым процессом, чтобы они позволили уловить эффект. При этом включение в расчет мер функционального разнообразия большого числа скоррелированных признаков не рекомендуется.

Функциональное разнообразие по аналогии с мерами таксономического разнообразия вычисляют для сообщества в целом с учетом обилия видов или без учета. Мер функционального разнообразия существует большое множество. Они разделяются на три основные группы (рисунок 2). Функциональное богатство показывает сколько пространства на оси признака(-ов) занимают виды, составляющие сообщество, то есть размах значений функциональных признаков видов. Функциональная выравненность отражает равномерность распределения обилия видов вдоль оси признака(-ов). Функциональная дивергенция измеряет насколько далеко друг от друга по оси признака(-ов) находятся наиболее обильные виды. Эти меры дают комплексное представление о ФР и отражают различные аспекты того, какие виды формируют сообщество и вносят вклад в функционирование экосистемы, и какие процессы преобладают в сообществе. Анализ мер ФР позволяет отвечать на множество насущных вопросов экологии: как сообщества реагируют на изменения климата, какие адаптации позволяют растениям переносить неблагоприятные условия, каковы механизмы устойчивости сообществ, как изменяется функционирование экосистемы в ответ на воздействие и др. Для расчета индексов ФР существуют отдельные пакеты для среды R, такие как FD, mFD.

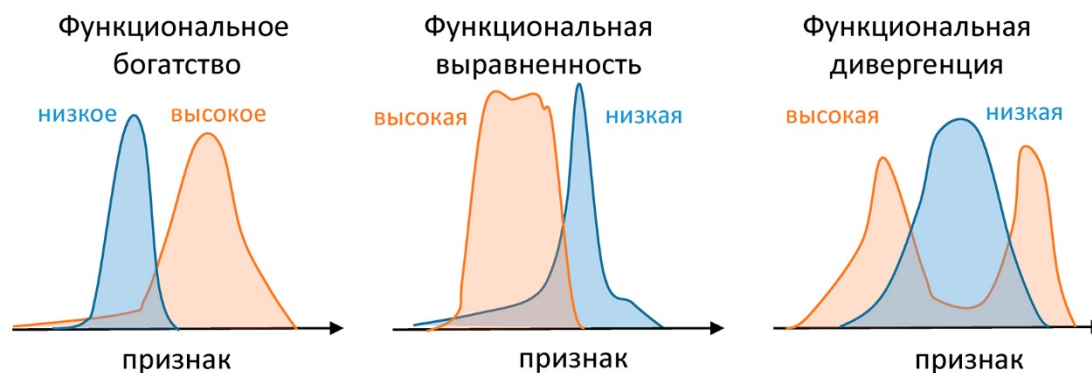


Рисунок 2 – Графическая репрезентация мер функционального разнообразия в пространстве одного признака. Воссоздана по: [2]

С помощью исследования мер ФР можно выявить механизм формирования конкретного сообщества. Фильтрация среды обитания (экологический фильтр) и дифференциация ниш – два фундаментальных экологических процесса, формирующих структуру сообщества. Фильтрация среды приводит к тому, что в сообществе доминируют виды со схожими признаками из-за ограничений, накладываемых окружающей средой. Это приводит к снижению функционального богатства, функциональной выравненности и дивергенции признаков, которые являются адаптивными к действию лимитирующего фактора. Дифференциация ниш происходит, когда сходные по признакам виды вытесняют друг друга, чтобы минимизировать конкуренцию за счёт использования разных ресурсов или занятия разных пространственных ниш. Она находит отражение в увеличении функционального

богатства, выравненности и дивергенции признаков, которые отвечают за использование ресурсов.

Для разделения этих процессов используют так называемые нулевые модели (Null models). Сравнивая наблюдаемые распределения признаков с ожидаемыми при случайном составе видов в сообществе из локального видового пула, исследователи могут определить, насколько виды похожи (фильтрация среды обитания) или различны (дифференциация ниш) по сравнению с ожидаемыми случайными значениями. Для этого на основе локального видового пула генерируется большое число нулевых (рандомных) сообществ (например, 1000). Для генерации нулевых сообществ можно использовать функцию `randomizeMatrix` из пакета `picante` для среды R. Разные нулевые модели по-разному чувствительны к фильтрации среды и дифференциации ниш. Поэтому рекомендуется использовать несколько моделей и тщательно подбирать видовой пул и данные по обилию видов [6]. Далее для каждого нулевого сообщества рассчитывается выбранная мера ФР. Затем рассчитывается стандартизированная величина эффекта по формуле:

$$SES = \frac{x_1 - \bar{x}_0}{\sigma},$$

где SES – стандартизированная величина эффекта,  $x_1$  – наблюдаемое ФР,  $\bar{x}_0$  – среднее ФР для нулевых сообществ,  $\sigma$  – стандартное отклонение ФР нулевых сообществ.

В конечном счете интерпретируются значения SES с поддержкой статистическими тестами на значимость различий, например, с помощью критерия Вилкоксона для двух зависимых выборок. Отрицательные значения показывают, что наблюдаемое ФР ниже, чем ожидается при случайном составе видов, что указывает на конвергенцию признаков и ведущее значение фильтрации среды. Положительные значения, наоборот, указывают на дивергенцию признаков и ведущее значение дифференциации ниш в результате конкурентного исключения. Значения SES, близкие к нулю, означают, что наблюдаемая закономерность существенно не отличается от случайного ожидания.

Таким образом, подход, основанный на признаках видов, имеет ряд важных преимуществ по сравнению с классическим таксономическим подходом: сведение всего многообразия видов (многомерных данных) к нескольким их признакам, т.е. в редукции переменных; каждый признак заключает в себе важную информацию касаясь свойств видов и сообществ; появляется возможность сравнения растительности и наблюдаемых процессов в таксономически различающихся регионах; установление движущих процессов в формировании сообществ; выявление морфолого-физиологических механизмов адаптации растений к неблагоприятным условиям и др. Однако функциональный подход необходимо применять наряду с таксономическим, не отрываясь от реальной растительности.

#### Список литературы

1. Calow, P. Towards a definition of functional ecology / P. Calow // *Functional Ecology*. – 1987. – Т. 1. – №. 1. – С. 57-61.
2. Carmona, C. P. Traits without borders: integrating functional diversity across scales / C. P. Carmona [et al.] // *Trends in ecology & evolution*. – 2016. – Т. 31. – №. 5. – С. 382-394.
3. Díaz, S. The global spectrum of plant form and function / S. Díaz [et al.] // *Nature*. – 2016. – Т. 529. – №. 7585. – С. 167-171.
4. Garnier, E. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review / E. Garnier, M. L. Navas // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2012. – Т. 32. – №. 2. – С. 365-399.
5. Garnier E., Navas M. L., Grigulis K. Plant functional diversity: organism traits, community structure, and ecosystem properties. – Oxford University Press, 2016.
6. Götzenberger, L. Which randomizations detect convergence and divergence in trait-based community assembly? A test of commonly used null models / L. Götzenberger [et al.] // *Journal of Vegetation Science*. – 2016. – Т. 27. – №. 6. – С. 1275-1287.

7. Pakeman, R. J. Sampling plant functional traits: what proportion of the species need to be measured? / R. J. Pakeman, H. M. Quested // *Applied Vegetation Science*. – 2007. – Т. 10. – №. 1. – С. 91-96.
8. Perez-Harguindeguy, N. Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide / N. Perez-Harguindeguy [et al.] // *Australian Journal of Botany*. – 2016. – Т. 64. – №. 8. – С. 715–716.
9. Plant trait database [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php> (дата обращения: 05.08.2025).
10. Pierce, S. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide / S. Pierce [et al.] // *Functional Ecology*. – 2017. – Т. 31. – №. 2. – С. 444-457.
11. Westoby, M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme / M. Westoby // *Plant and Soil*. – 1998. – Т. 199. – №. 2. – С. 213–227.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИССЛЕДОВАНИИ И СИСТЕМАТИКЕ РАСТЕНИЙ

Пантелеев С. В.<sup>1</sup>, Константинов А. В.<sup>1</sup>, Кирьянов П. С.<sup>1</sup>, Падутов А. В.<sup>1</sup>,  
Лебедько В. Н.<sup>2</sup>, Савчук С. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт леса НАН Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь  
e-mail: stasikdesu@mail.ru

<sup>2</sup>ГНУ «Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

*В работе описаны основные методы молекулярно-генетического анализа и ДНК-маркеры, применяемые в исследованиях по систематике и таксономии растений: RFLP, CAPS, RAPD, AFLP, ISSR, SSR и SNPs. Обозначены наиболее распространенные локусы для видовой идентификации растений и их информативность: ген хлДНК *rbcl* (большая субъединица рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилазы), ген хлДНК *matK* (матураза K), ITS рДНК (внутренние транскрибируемые спейсеры), спейсеры между генами хлДНК *trnH-psbA*, *atpF-atpH*.*

В области генетических исследований растений выделяют два основных направления: ДНК-штрихкодирование и маркер-ассоциированную селекцию (МАС).

ДНК-штрихкодирование является перспективным инструментом для таксономии растений и представляет собой стандартизированный подход к идентификации и классификации видов, дополняющий или верифицирующий традиционную морфологическую идентификацию. МАС на основе ДНК-штрихкодирования, в том числе на внутривидовом уровне (формы, сорта), позволяет проводить отбор особей по генотипу с хозяйственно-значимыми признаками для дальнейшей селекции.

Из всего многообразия существующих методов ДНК-анализа широкое применение при исследовании растений получили следующие: RFLP, CAPS, RAPD, AFLP, ISSR, SSR, SNPs, DArT и некоторые другие [1].

Одним из первых методов исследования геномной ДНК был RFLP (англ. Restriction fragment length polymorphism – полиморфизм длины рестрикционных фрагментов – ПДРФ). Метод основан на расщеплении геномной ДНК с использованием эндонуклеаз (рестриктаз) и визуализацией получаемых ДНК-спектров посредством блот-гибридизации, что позволяет детектировать нуклеотидный полиморфизм в гомологичных последовательностях. Таким образом, были составлены ПДРФ-карты геномов ряда растений (пшеница, ячмень, рис и др.) и установлена гомология между их хромосомами. Данный подход активно применялся с 1980-х до конца 1990-х годов, в том числе и для видовой идентификации, однако в дальнейшем был замещен методами на основе ПЦР-анализа. Так наибольшее распространение приобрели методы PCR-RFLP (CAPS) – рестрикция ампликонов и SSR (англ. Simple sequence repeats) – анализ микросателлитных повторов.

SSR-маркеры затруднительно использовать для видовой диагностики, но на известных видах они широко используются для генетической паспортизации растений при изучении филогеографии, популяционной структуры, идентификации сортов и определения ploидности. В настоящее время с использованием микросателлитов разработаны наборы маркеров и генетически паспортизованы большинство известных видов растений. SSR-локусы высокополиморфны и как RFLP-маркеры характеризуются кодоминантностью и распределением по всему геному. К недостаткам метода относится вариабельность данных (1-2 н.о.) в зависимости от качества используемой при ПЦР ДНК-полимеразы, а также срока эксплуатации реагентов и капиллярного блока генетического анализатора. Также необходимо учесть, что в tandemных повторах возможны индели (вставки/делеции), что приводит к детекции альтернативных аллельных вариантов. Наличие либо отсутствие такого полиморфизма можно верифицировать секвенированием.

RAPD (англ. Random amplified polymorphic DNA – случайно амплифицированная полиморфная ДНК) – амплификация фрагментов генома с использованием одного праймера с

произвольной структурой порядка 10 нуклеотидов. Получаемые полифракционные RAPD-спектры обрабатываются статистически для построения дендрограмм, что позволяет оперативно выявлять полиморфизм на внутривидовом уровне, изучать генетическое разнообразие и филогению. В основном RAPD-маркеры являются доминантными. Метод RAPD требует получение препаратов суммарной ДНК с визуально здоровой и неповрежденной биологической ткани, так как коммерчески доступные наборы праймеров не являются видоспецифическими. Так, например, при наличии признаков некротизации растительных тканей, RAPD-спектры могут содержать контаминацию бактериальной и грибной микрофлоры, что может привести к затруднению интерпретации данных. ПЦР для различных видов, использование наборов разных производителей, а также низкая температура отжига праймеров (менее 48 °C в большинстве случаев) требует разработки отдельных протоколов амплификации для обеспечения воспроизводимости. RAPD-маркеры не используются для видовой идентификации.

AFLP (англ. Amplified fragment length polymorphism) – полиморфизм длины амплифицированных фрагментов. AFLP основан на рестрикции геномной ДНК с лигированием адаптеров и ПЦР-амплификацией с комплиментарными последним праймерами. Метод применяется в различных областях растениеводства, включая популяционную генетику, филогению, изучение сортового полиморфизма и маркирование локусов, сцепленных с хозяйственно-ценными признаками. AFLP – доминантные маркеры и анализ полифракционных спектров является трудоемким.

ISSR (англ. Inter Simple Sequence repeats – межмикросателлитные последовательности) – метод амплификации фрагментов генома, расположенных между микросателлитами. ISSR-маркеры являются альтернативой RAPD методу, но характеризуются более высокой степенью полиморфизма и воспроизводимостью.

IRAP (англ. Inter-retrotransposon amplified polymorphism) – полиморфизм амплифицированных последовательностей между ретротранспозонами (мобильными генетическими элементами). IRAP позволяет изучить генетическое разнообразие и используется также при MAC для поиска перспективных генов-кандидатов, но более специфичен для изучения эволюции генома.

При AFLP-, ISSR- и IRAP-анализе амплифицируются фрагменты ДНК разной длины, которые при электрофоретическом разделении визуализируются в виде специфических полифракционных спектров, но в сравнении с RAPD позволяют проанализировать большее количество локусов. Эти методы обычно не используются для идентификации на уровне вида, хотя могут быть информативны для дифференциации близкородственных видов.

SNP-типирование (англ. Single-nucleotide polymorphism – однонуклеотидный полиморфизм) – метод исследования генетической изменчивости, при котором выявляются различия в последовательности ДНК на уровне одного нуклеотида. Метод широко используется при видовой идентификации, изучении аллельного полиморфизма, гапло- и генотипировании, для построения генетических карт и др. Детекция SNP происходит различными вариантами секвенирования, ПЦР и некоторыми другими подходами. Также применяются маркерные системы на основе микрочипов (SNP-arrays, DArT), обеспечивающие автоматизацию процессов анализа.

К наиболее распространенным локусам для видовой идентификации растений относятся: ген хлДНК *rbcl* (большой субъединицы рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилазы), ген хлДНК *matK* (матуразы K), ITS рДНК (внутренние транскрибируемые спейсеры), спейсеры между генами хлДНК *trnH-psbA*, *atpF-atpH* и некоторые другие [2]. Данные локусы консервативны в пределах вида и характеризуются изменчивостью между видами.

Степень полиморфизма вышеперечисленных локусов варьирует в пределах родов различных групп растений. В связи с этим в каждом частном случае необходимо осуществлять отработку и подбор набора маркеров для идентификации. Так, например, для лесных древесных растений маркеры хлДНК в пределах родов не являются информативными

для достоверного разделения видов и характеризуются высоким уровнем генетического сходства (99–100%), а полиморфизм межгенных спейсеров в пределах вида может превышать межвидовой уровень, в частности, за счет дубликаций фрагментов фланкирующих последовательностей. Для других групп растений успешное различие видов по хпДНК-маркерам составляет от 2 до 100% [3].

ITS-маркер разделяет широкий спектр растительных видов и в ряде случаев позволяет установить гибридное происхождение (рисунок). Например, для лесных растений процент идентичности нуклеотидных последовательностей в пределах рода составляет порядка 90–99%. Однако актуальным остается изучение перечня проблемных таксонов среди различных групп растений, требующих поиска альтернативных маркеров для верификации видового статуса, а также проведения комплексных морфологических и генетических исследований. Необходимо отметить также, что в генетической базе данных Национального центра биотехнологической информации NCBI [4] присутствуют депозиты разных видов растений с идентичными нуклеотидными ITS-последовательностями рДНК либо отмечается наличие единичных регистраций, что затрудняет генетическую диагностику, не позволяет с достоверностью провести видовую верификацию и требует наработки собственной базы данных секвенированных последовательностей из материала типовых экземпляров.

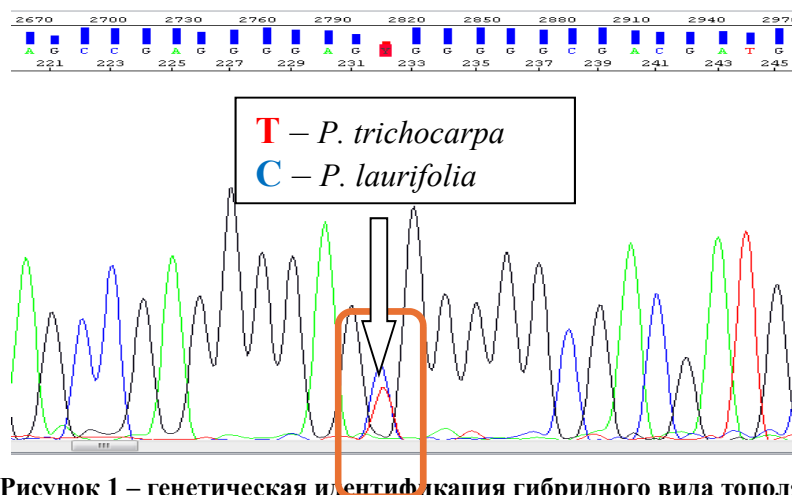


Рисунок 1 – генетическая идентификация гибридного вида тополя *Populus trichocarpa* x *laurifolia* (Sequencing Analysis 6.0)

Специалистами Института леса и Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси также проведены совместные исследования по генетической верификации таксономической принадлежности некоторых трудно определяемых видов родов *Pulsatilla* Mill. и *Veronica* L. (рис. 1). Полученные результаты частично депонированы в генный банк NCBI (номера доступа: PP396649-PP396654).

Таким образом, при работе в области систематики и таксономии растений требуется комплексный подход, основанный на морфологическом описании растительных образцов, сравнительном анализе типовых экземпляров и молекулярно-генетическом анализе, в том числе включающем исследования на надгенном уровне.

#### Список литературы

1. Amiteye, S. Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding / S. Amiteye // Heliyon. – 2021. – Vol. 7. – No. 10. – e08093.
2. CBOL Plant Working Group. A DNA barcode for land plants // Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America. – 2009. – pp. 12794-12797.
3. Dong, W. Discriminating plants using the DNA barcode rbc L b: an appraisal based on a large data set / W. Dong [et al.] // Molecular Ecology Resources. – 2014. – Vol. 14. – No. 2. – pp. 336-343.
4. National Center for Biotechnological Information, NCBI [Electronic resource]. – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 14.05.2025).

## **СЕКЦИЯ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА, ДИНАМИКА, ЭКОЛОГИЯ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ, КАРТОГРАФИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА**

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ *VACCINIUM MYRTILLUS* L. НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯГОД (РЕЗУЛЬТАТЫ ЗА 2024 Г.)**

Амиралиева Л. В., Геникова Н. В.

Институт леса — обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск, Российская Федерация  
e-mail: 202011.03.umn@gmail.com

*На постоянных пробных площадях, представляющих собой растительные сообщества разных типов леса и разных возрастных стадий, в 2024 году на территории южной Карелии (среднетаежная подзона) проводили учёт цветения и плодоношения черники. Выявлено, что на опушках вырубki и леса урожайность ягод максимальна среди всех обследованных сообществ. В старовозрастных насаждениях значения урожайности в среднем невысокие, но варьирование значений между пробными площадями меньше по сравнению с сообществами вырубok, опушек и средневозрастных лесов.*

Черника является одним из доминирующих видов напочвенного покрова в лесных сообществах таежной зоны, что определяет ее значение среди кормовых растений диких животных. Плоды черники являются важным ресурсом дикорастущих ягод для человека. Черника встречается в разных типах леса: от сухих брусничных сосняков до влажных сфагновых ельников. Однако не во всех типах леса черника обладает высоким обилием и хорошей урожайностью ягод.

Цель исследования — оценить влияние типа местообитания на урожайность ягод *Vaccinium myrtillus* L. в лесорастительных условиях среднетаежных ельников и сосняков черничных (на примере Республики Карелия).

Объектами исследования являлись пробные площади (ПП), представляющие собой растительные сообщества разных типов леса и разных возрастных стадий. Всего в 2024 году было заложено и обследовано 12 ПП в Пряжинском и Кондопожском районах республики Карелия.

Часть ПП закладывалась в черничных типах леса различных возрастных стадий (открытая вырубка, средневозрастное насаждение). Кроме того, исследования урожайности черники проводились на опушке между обследованной вырубкой и примыкающим к ней исходным ельником черничным, т. к. по литературным данным в этих местообитаниях отмечаются высокие урожаи ягод [3]. Другая часть ПП представлена старовозрастными лесами и различалась породным составом и степенью увлажнения (черничный и чернично-сфагновый типы) (таблица 1).

В условиях ельника черничного обследованы вырубki (1 и 4 года), опушки той же давности нарушения, средневозрастные хвойно-лиственные насаждения (60–70 лет). Ряд увлажнения представлен такими сообществами, как сосняк черничный старовозрастный (160–180 лет), ельник чернично-разнотравный старовозрастный (160–180 лет), сосново-еловый лес чернично-сфагновый старовозрастный (160–180 лет). Итого исследования урожайности черники проводились в 6 типах местообитаний в двух повторностях для каждого типа, итого 12 ПП.

На каждой ПП закладывались четыре учетные ленты длиной 30 м, вдоль которых равномерно размещалось 8 учетных площадок размером 1х1 м. Количество таких учетных площадок на каждой ПП составляло 32 шт.

На каждой учетной площадке в конце мая подсчитывалось количество цветов, в конце июля — количество ягод. Для выявления среднего веса одной ягоды в трех повторностях

брали навеску из 100 ягод. Затем, умножая среднее количество ягод на ПП на средний вес одной ягоды, получали урожайность черники в пересчете на гектар (кг/га). Также на каждой учётной площадке оценивалось проективное покрытие черники (таблица 1).

Средние значения основных измеренных параметров черники (проективное покрытие, количество цветов и ягод на учетную площадку, процент выхода ягод из цветов и вес одной ягоды) для каждого типа местообитания представлены в таблице 1.

Наименьшим обилием изучаемого кустарничка характеризуется вырубка, наибольшим – сосняк черничный, что, в целом, соответствует экологической и ценотической приуроченности черники [2].

Одни из наименьших значений среднего количества цветов на  $1 \text{ м}^2$ , а также наименьшие значения среднего количества ягод на  $1 \text{ м}^2$  и выхода ягод из цветов были отмечены на вырубке. При этом максимальные значения перечисленных параметров среди всех обследованных ПП выявлены на краю вырубки и ельника черничного. В этом заключается одно из проявлений экотонного эффекта: примыкающий к вырубке лес создает благоприятные микроклиматические условия для произрастания лесных кустарничков [1].

Средний вес одной ягоды на всех ПП составил 0,24 г. Наибольшее значение выявлено для старовозрастных лесов (0,25–0,30 г), наименьшее значение – для вырубки (0,16 г), что, вероятно, объясняется разной влажностью почвы в этих сообществах.

**Таблица 1 – Изученные параметры *Vaccinium myrtillus* в разных типах местообитаний**

| Типы местообитаний                             | Среднее проективное покрытие, % | Кол-во цветов (среднее) на $1 \text{ м}^2$ | Кол-во ягод (среднее) на $1 \text{ м}^2$ | Выход ягод из цветов, % | Средний вес ягоды, г |
|------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Вырубка ельника черничного 1–4 года            | 14,1±2                          | 23,4±10,2                                  | 2,9±1,4                                  | 12±1,5                  | 0,16±0,03            |
| Опушка вырубки и лесного сообщества            | 19,6±1,9                        | 61,1±14,5                                  | 31,3±10,1                                | 51±3,8                  | 0,22±0,01            |
| Хвойно-лиственное средневозрастное насаждение  | 24,1±2,3                        | 18,3±4,0                                   | 5,1±1,2                                  | 28±3,0                  | 0,26±0,04            |
| Ельник чернично-разнотравный старовозрастный   | 25,8±2,1                        | 27,9±6,7                                   | 6,3±1,5                                  | 23±3,1                  | 0,25±0,01            |
| Сосняк черничный старовозрастный               | 32,0±2,3                        | 50,2±3,9                                   | 12,5±1,9                                 | 25±2,6                  | 0,27±0,05            |
| Хвойный лес чернично-сфагновый старовозрастный | 21,9±2,1                        | 48,1±5,4                                   | 14,1±2,3                                 | 29±2,7                  | 0,30±0,04            |

Максимальное значение средней урожайности среди всех обследованных сообществ отмечено на опушке (таблица 2). Однако здесь наблюдается и наибольшее варьирование значений, т. е. на двух ПП опушки ельника черничного отмечен и минимальный и максимальный урожай ягод черники среди всех ПП. Подобное варьирование значений отмечено на вырубке и в средневозрастном лесу, т. е. в производных сообществах.

Таблица 2 – Урожайность ягод *Vaccinium myrtillus*

| По типам местообитаний                                    | Средняя урожайность, кг/га | min-max, кг/га |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Вырубка ельника черничного 2–4 года                       | 5,7                        | 0,3 – 11,1     |
| Опушка вырубки и лесного сообщества                       | 80,0                       | 0,5 – 159,5    |
| Хвойно-лиственное средневозрастное насаждение (60–70 лет) | 13,3                       | 1,1 – 25,5     |
| Ельник чернично-разнотравный старовозрастный              | 15,9                       | 8,2 – 23,6     |
| Сосняк черничный старовозрастный                          | 36,7                       | 11,3 – 62,1    |
| Хвойный лес чернично-сфагновый старовозрастный            | 45,1                       | 14,9 – 75,2    |

В старовозрастных насаждениях значения урожайности в среднем невысокие, но более выравненные между разными пробными площадями.

#### Список литературы

1. Изменение структуры напочвенного покрова в экотонном комплексе «лес-опушка-вырубка» в условиях ельника черничного через 10 лет после рубки / Н. В. Геникова, Е. В. Торопова, А. М. Крышень, В. Н. Мамонтова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. – №10. – С. 12–26. doi: 10.17076/eco877.
2. Панин, И. А. Ресурсы черники обыкновенной в насаждениях сосняка ягодникового подзоны средней тайги Свердловской области / И. А. Панин, Ю. А. Аржанников // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 3 (90). – С. 26–34. doi: 10.51318/FRET.2024.31.90.003.
3. Изучение средней урожайности ягодников на пробных площадях в природном парке «Сибирские Увалы» в 2020 году: первичное обобщение и сравнение / Б. А. Середовских, Э. К. Каримова, И. А. Леонтьев // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах. – 2022. – С. 108–111.

## ОСОБЕННОСТИ ЦЕНОФЛОРЫ ТРАВЯНЫХ СООБЩЕСТВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МИНСКОГО РАЙОНА

Васюк С. И.<sup>1</sup>, Куликова Е. Я.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: snezhana.vi.02@yandex.by

В работе представлены результаты исследований травянистой растительности железных дорог Минского района, проведенные в период с 2021 по 2024 гг. Проведен анализ ценофлоры сообществ, относящихся к 6 ассоциациям и 3 классам (*Sisymbrietea*, *Epilobietea angustifolii*, *Artemisietea vulgaris*), по ряду признаков: жизненная форма, жизненная стратегия, индексы нарушений и доля адвентивных видов.

**Введение.** Выступая одним из основных способов транспортировки грузов, железные дороги оказывают комплексное воздействие на формирование прилегающей растительности, определяя их состав и структуру. Так, в пределах железнодорожного полотна формируются более засушливые условия, близкие к степям и полупустыням, что обеспечивается стоком питательных веществ и воды по склону насыпи к ее основанию [1]. Фитоценозы, располагающиеся в полосе отчуждения, подвержены высокому влиянию прилегающей растительности за счет сходных экологических условий, формируя богатыми видами сообщества с преобладанием местных растений. Кроме того, железнодорожное полотно может играть роль «миграционных коридоров» для чужеродных видов растений [8]. Исследования растительности железных дорог позволяют определить их место в современном ландшафте, а также прогнозировать распространение чужеродных, потенциально инвазивных видов растений.

**Материалы и методы.** Исследования травянистой растительности железных дорог Минского района проводились в 2021–2024 гг. Были выделены три типа местообитаний, в каждом из которых проводились геоботанические описания: железнодорожное полотно, откос и полоса отчуждения [3]. Всего выполнено 47 описаний (в анализе участвовали 35) на 17 ключевых участках, расположенных в г. Минске, а также вдоль железнодорожного пути Минск–Молодечно. Для выделения синтаксонов использовался метод эколого-флористической классификации по Браун-Бланке [9]. Наименование высших синтаксономических единиц дано в соответствии с «Vegetation of Europe...» [14]. Для характеристики ценофлоры рассчитаны средневзвешенные значения по следующим признакам: жизненная форма по Раункиеру [13] и Серебрякову [6], жизненная стратегия по Раменскому-Грайму [5, 11], индексы нарушений [10] (частота нарушений (DF), степень нарушенности фитоценоза (DS), степень деградации почвы (SD)), а также доля адвентивных видов в сообществе, как отношение адвентивных видов к общему числу видов данного синтаксона [2]. Средневзвешенные значения ( $\bar{X}$ ) рассчитывались для каждого признака с учетом его среднего проективного покрытия в сообществе [4, 12].

**Результаты и обсуждение.** Было изучено ценотическое разнообразие травяных сообществ железных дорог Минского района. Установлено 6 ассоциаций (асс.), относящихся к 3 классам: *Sisymbrietea* (*Linario-Brometum tectorum* Knapp 1961), *Epilobietea angustifolii* (*Chaerophylletum aromatici* Neuhauslova-Novotna et al. 1969 и *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae* Tuxen 1967), *Artemisietea vulgaris* (*Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis* Felföldy 1943, *Pastinaco sylvestris-Elytrigietum repentis* Ishbirdin in Ishbirdin et al. 1988, *Arrhenathero elatioris-Dactylidetum glomeratae* Arepieva 2015 (варианты: *typicum*, *Rumex thursiflorus*)) [7].

Ценофлора исследуемых сообществ насчитывает 193 вида сосудистых растений. Анализ растений по жизненным формам (по системе Раункиера) во флористическом составе всех исследуемых сообществ выявил значительное доминирование группы гемикриптофитов

( $X_a$  (среднее для всех исследуемых растительных сообществ) = 0,87), являющихся наиболее распространенной жизненной формой в Голарктике. Наибольшая доля терофитов ( $X_a = 0,32$ ) отмечается в ценофлоре асс. *Linario-Brometum tectorum*, сообщества которой представляют собой начальные стадии восстановительной сукцессии и формируются на песчаных обнаженных субстратах. В видовом составе исследуемых ценозов фанерофиты ( $X_a = 0,08$ ) и криптофиты ( $X_a = 0,03$ ) встречались в ювенильной стадии роста, редко формируя развитый ярус, распространяясь из прилегающих фитоценозов.

Анализ растений по жизненным формам (по классификации Серебрякова) в исследуемой ценофлоре выявил высокое участие поликарпических трав, среди которых особое место занимают рыхлодерновинные ( $X_a = 0,29$ ) и длиннокорневищные ( $X_a = 0,29$ ) формы. Это такие растения, как *Elytrigia repens*, *Calamagrostis epigejos*, *Bromopsis inermis*, которые способны к быстрому распространению на новые территории, часто встречаются на откосах и в полосе отчуждения в качестве доминантов сообществ классов *Artemisietea vulgaris* (порядок *Agropyretalia intermedio-repentis*) и *Epilobetea angustifolii* (асс. *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae*). В ценофлоре асс. *Chaerophylletum aromatici* доминируют стержнекорневые виды ( $X_{Cha} = 0,44$ ) за счет высокого обилия бутня ароматного, играющего ключевую роль в структурной организации фитоценоза.

Анализ индексов нарушений (рисунок 1) показал, что наибольшему антропогенному воздействию подвержены сообщества асс. *Linario-Brometum tectorum* (DF ( $X_{LB} = 1,20$ ), DS ( $X_{LB} = 0,62$ ), SD ( $X_{LB} = 0,38$ )), ценофлора которых содержит высокую долю адвентивных видов (61%). Менее нарушенными являются ценозы порядка *Agropyretalia intermedio-repentis* класса *Artemisietea vulgaris* (DF ( $X_{ART} = 1,09–1,16$ ); DS ( $X_{ART} = 0,58–0,60$ ); SD ( $X_{ART} = 0,30–0,31$ )); доля адвентивных видов в ценофлоре составляет 39%) и класса *Epilobetea angustifolii* (DF ( $X_{EPI} = 1,02–1,06$ ); DS ( $X_{EPI} = 0,57–0,60$ ); SD ( $X_{EPI} = 0,29–0,33$ ); доля адвентивных видов (26%) – самая низкая среди всех исследуемых сообществ).

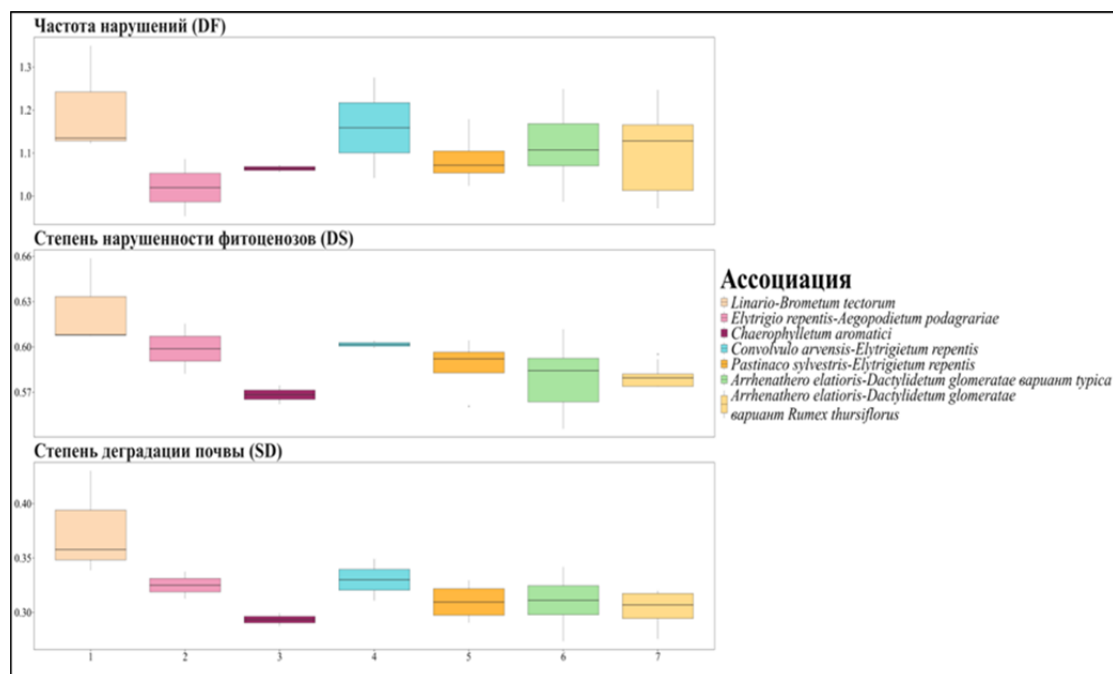


Рисунок 1 – Значения индексов нарушений в ценофлорах растительных сообществ железных дорог Минского района

Анализ растений по жизненным стратегиям выявил, что наибольшей долей в ценофлоре всех исследуемых сообществ обладают С-стратегии ( $X_a = 0,60$ ), указывая на развитые, довольно стабильные фитоценозы, сформированные многолетним высокорослым разнотравьем: сообщества асс. *Arrhenathero elatioris-Dactylidetum glomeratae* ( $X_{ArrDac} = 0,75$ ),

*Pastinaco sylvestris*–*Elytrigietum repentis* ( $X_{PasEly} = 0,77$ ) и *Chaerophylletum aromatici* ( $X_{Cha} = 0,76$ ). Высокая доля виолентов в сообществах позволяет судить о более поздних стадиях сукцессии, такие сообщества встречаются на участках, подлежащих постоянному скашиванию и умеренному антропогенному воздействию, видовой состав которых приближен к полуестественным луговым фитоценозам. Отличительной особенностью ценофлоры асс. *Linario-Brometum tectorum* является высокая доля эксплерентов ( $X_{LB} = 0,31$ ) в ее составе, что свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке на данные фитоценозы.

Закключение. Состав и структура растительных сообществ железных дорог зависит от комплекса факторов, начиная от их строительства и заканчивая эксплуатацией. Железнодорожное полотно характеризуется наибольшим антропогенным прессингом, здесь распространены сообщества асс. *Linario-Brometum tectorum*. Для данных сообществ характерно преобладание однолетних и адвентивных видов растений, этим обусловлено и высокие значения индексов нарушений. В условиях умеренной антропогенной нагрузки широкое распространение получили мезофитные сообщества порядка *Agropyretalia intermedio-repentis* класса *Artemisietea vulgaris*, формирующиеся на откосах и в полосе отчуждения, способные сохраняться на длительный срок в виде хронически-серийных фитоценозов [2]. Наименее нарушенными являются сообщества класса *Epilobetea angustifolii*, облик которых определяют аборигенные виды (*Chaerophyllum aromatici* и *Aegopodium podagraria*), создавая конкуренцию для распространения чужеродных видов растений.

#### Список литературы

1. Арепьева, Л. А. Обзор растительных сообществ железнодорожных насыпей в городах Курской области / Л. А. Арепьева // Известия Самарского НЦ РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (2). – С. 695–699.
2. Арепьева, Л. А. О Сообществах поздних сукцессионных стадий рудеральной растительности на урбанизированных территориях Курской области/ Л. А. Арепьева // Растительность России. СПб. – 2012. – № 21. – С. 13–24.
3. Баринов, А. В. Анализ флоры железных дорог города Москвы: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01 / Баринов Андрей Владимирович ; ГБС РАН. – Москва, 2018. – 154 л.
4. Какие стратегии растения способствуют их доминированию в альпийских сообществах? / В. Г. Онипченко, К. В. Дудова, А. А. Ахметжанова [и др.] // Журн. общ. биологии. – 2020. – Т. 81, № 1. – С. 37–46.
5. Раменский, Л. Г. Введение в комплексное почвенно геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 615 с.
6. Серебряков, И. Г. Экологическая морфология растений / И. Г. Серебряков. – Москва: Высшая школа, 1962. – 277 с.
7. Синтаксономическое разнообразие травяных сообществ железных дорог Минской области / С. И. Сергейчик, Е. Я. Куликова // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2025», Секция «Биология», 11–25 апреля 2025 г., г. Москва / МГУ им. Ломоносова; отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, Е. И. Зимакова. – Москва: МАКС Пресс, 2025. – URL: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2025/data/section\\_3\\_36641.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2025/data/section_3_36641.htm) (дата доступа: 18.07.2025).
8. Ascensão, F. Aliens on the Move: Transportation Networks and Non native Species / F. Ascensão, C. Capinha // Railway Ecology ; eds. L. Borda-de Água [et al.]. – Cham: Springer International Publishing, 2017. – Aliens on the Move. – P. 65–80.
9. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie: Grundzüge der Vegetationskunde / J. Raunkier – Springer Verlag. – 1964. – 865 s.
10. Disturbance indicator values for European plants / G. Midolo, T. Herben, I. Axmanova [et al.] // Global Ecology and biogeography. – 2022. – Vol. 32, № 1. – P. 24–34.
11. Grime, J. P. Plant strategies and vegetation processes / J. P. Grime. – New York: John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 1979. – 222 p.
12. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession / E. Garnier, J. Cortez, M.-L. Navas [et al.] // Ecology. – 2004. – Vol. 85, № 9. – P. 2630–2637.
13. Raynkiaer, C. The life Forms of Plants and Statistical Geography / C. Raynkiaer. – Oxford, 1934. – 632 p.
14. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / L. Mucina, H. Buelmann, K. Dierben [et al.] // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19, № S1. – P. 3–264.

**ИНВАЗИВНЫЕ ПАТОГЕНЫ В ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА»: ДИАГНОСТИКА, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И МЕРЫ ЗАЩИТЫ**

Волошина Е. Р.

Национальный парк «Браславские озера», г. Браслав, Республика Беларусь  
e-mail: voloshinaer@tut.by

В статье представлены результаты исследования инвазивных патогенов древесных пород на территории Национального парка «Браславские озера», в результате которого выявлены три ключевых чужеродных вида: *Hymenoscyphus fraxineus* (возбудитель халарового некроза ясеня), *Phytophthora alni* (фитофтороз ольхи) и *Melampsoridium hiratsukanum* (ржавчина ольхи). Установлено, что *H. fraxineus* поражает 96,4 % обследованных ясеневых насаждений, *P. alni* выявлен в 66,18 % ольшаников, а *M. hiratsukanum* встречается локально, не вызывая массового усыхания.

Инвазивные фитопатогены древесных пород представляют собой угрозу для лесных экосистем по всему миру, не является исключением и Беларусь. Национальный парк «Браславские озера» из-за пограничного расположения на северо-западе республики подвержен более высокому риску проникновения чужеродных болезней и вредителей. В связи с этим актуальными становятся оперативная оценка роли инвазивных патогенов в деградации лесов особо охраняемой природной территории и разработка рекомендаций по выявлению, надзору и мерам защиты насаждений.

Задачами данного исследования являлись: отработка методов диагностики инвазивных патогенов, анализ их распространения, разработка рекомендаций для лесного хозяйства. Рекогносцировочным и детальным лесопатологическим обследованиям подверглись насаждения на территории лесничеств Национального парка «Браславские озера» и экспериментального лесохозяйственного хозяйства «Браслав». Идентификация возбудителей производилась путем оценки симптомов заболевания, сборов гербарных образцов, образцов пораженной древесины с последующей идентификацией микроскопическими и молекулярными методами.

Халаровый некроз ясеня (возбудитель – *Hymenoscyphus fraxineus*), демонстрирует высокую агрессивность на территории национального парка: распространенность симптомов (некроз ветвей, суховершинность – рисунок 1) составляет 96,4 % при средней пораженности – 16,9 %, доходящей в очагах до 58,5 %. По данным, собранным на безразмерных пробных площадях, определено, что в насаждениях первого яруса количество деревьев, отнесенных к категории ослабленных и сильно ослабленных составляет 70,2 %, свежий и старый сухостой – 13,5 %. На 35 % деревьев наблюдалось наличие водяных побегов, на отдельных растениях они частично или полностью замещали крону. Во втором ярусе усыхающих деревьев, свежего и старого сухостоя не выявлено.

**Рисунок 1 – Усыхающие деревья ясеня**

Количество пораженных листьев подроста составило около 35,3 % при средней площади некрозов листовой пластинки 25,1 %. Наблюдались единичные случаи острого усыхания подроста. Средняя встречаемость зараженных черешков (с наличием отчетливой псевдосклероциальной пластинки) на исследуемой территории составила 67,25 %. Плодовые тела встречались начиная с конца июня, среднее количество плодовых тел на один черешок в конце июня составило 8,8 шт., или 66,25 на 1 м<sup>2</sup> лесной подстилки. Доля черешков с развитыми плодовыми телами – 24,6 %.

Симптомы опасного карантинного заболевания – фитофтороза ольхи, вызываемого оомицетом *Phytophthora alni*, встречаются в 66,18 % обследованных насаждений с наличием ольхи серой и черной в составе. Визуальная диагностика возможного заражения ольхи фитофторозом заключается в обнаружении на стволах ольхи серой и черной темного (от рыжего до черного цвета) маслянистого экссудата, а при снятии коры некротизированной древесины с образованием контрастного рисунка здоровой и пораженной частей с четкой границей перехода (рисунок 2).



Рисунок 2 – Стволы ольхи с признаками фитофтороза

Пораженные растения ольхи выглядят низкорослыми, с пожелтевшими листьями, разреженными. Листья становятся мелкими и преждевременно опадают, оставляя ветви голыми [1].

Классические проявления фитофтороза ольхи на территории национального парка обнаруживаются чаще у водоемов: отмечено 55,88 % выделов с разной степенью пораженности ольхи, расположенных недалеко от водотоков. В удаленных от водных объектов выделах возможность заражения патогеном составляет 7,35 % выделов. Такое распределение можно объяснить тем, что вода является основным, но возможно не единственным путем распространения фитофтороза ольхи.

Ржавчина ольхи (*Melampsorium hiratsukanum*), на территории Национального парка «Браславские озера» развивается на ольхе серой и черной. Листья ольхи покрываются с верхней стороны мелкими красновато-бурыми пятнами, а с нижней – хорошо заметным оранжево-желтым порошистым налетом [2] (рисунок 3).



Рисунок 3 – Ольха серая, пораженная ржавчиной

Чаще ржавчиной ольхи, вызванной *M. hiratsukanum*, заражается ольха серая – 48,61 % обследованных деревьев на участках с выявленными признаками заболевания, ольха черная – 2,29 %. Количество пораженной листвы на деревьях ольхи составляет в среднем 39,2 %, при этом листовая пластинка в среднем поражается на 33,2 %. Наиболее часто ржавчина ольхи встречалась в сырых условиях произрастания.

Морфологические признаки урединий и урединиоспор подтверждают, что ржавчина, обнаруженная на листьях ольхи, относится к виду *M. hiratsukanum* (рисунок 4): одиночные или собранные в небольшие группы урединиоспоры от яйцевидных до продолговатых, широко закругленных на вершине, размером 18,3–34,4 × 7,2–16,3 мкм, мелко и регулярно эхинуллированные.

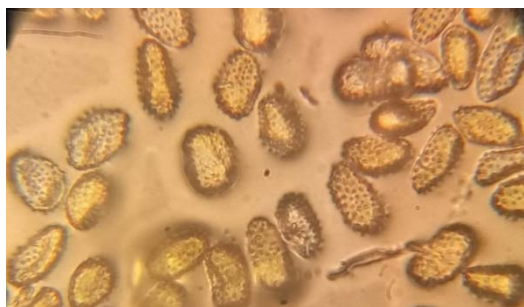


Рисунок 4 – Урединиоспоры ржавчины *M. hiratsukanum*

Фитопатологические проявления ржавчины у лиственницы (промежуточный хозяин *M. hiratsukanum*) заметны только при сильном развитии болезни: хвоя становится немного хлоротичной и покрывается желтоватыми пятнами в средней части хвоинок. На территории Национального парка «Браславские озера» инвазивная ржавчина на лиственнице европейской не обнаружена, однако в охранной зоне отмечено присутствие *M. hiratsukanum* на культурах лиственницы. Симптомы встречаются единично на отдельных хвоинках.

Для минимизации негативного воздействия инвазивных патогенов важно предпринимать комплекс мер, основанный на результатах научных исследований. Так, в ясеневых насаждениях ключевое значение имеют рубки ухода и санитарные рубки, направленные на удаление пораженных деревьев и снижение инфекционной нагрузки. Особое внимание следует уделять сохранению генетического разнообразия ясеня, включая создание лесных культур из устойчивых генотипов.

В ольховых насаждениях критически важно ограничить распространение оомицетов путем контроля перемещения почвы и воды из зараженных зон. Рекомендуются избегать посадки ольхи в районах с выявленными случаями фитофтороза, а также усилить мониторинг состояния деревьев вблизи водоемов. Для предотвращения заноса патогена в здоровые экосистемы необходима строгая регламентация использования посадочного материала и дезинфекция инструментов. Для сдерживания распространения ржавчины ольхи рекомендуется избирательно подходить к выбору участков лесного фонда для создания культур лиственницы, исключая места с близким произрастанием ольхи серой и черной.

Общей стратегией противодействия инвазивным патогенам является развитие системы раннего обнаружения, включающей обучение сотрудников лесохозяйственных и природоохранных учреждений и привлечение общественности в качестве научных волонтеров.

#### Список литературы

1. Haque, M. M. Identification, characterization and pathogenicity of *Phytophthora* spp. associated with the mortality of *Alnus glutinosa* in Spain / M. M. Haque [et al.]. – 2014.
2. Moricca, S. First Documentation of life cycle completion of the alien rust pathogen *Melampsoridium hiratsukanum* in the Eastern Alps proves its successful establishment in this mountain range / S. Moricca [et al.] // Journal of Fungi. – 2021. – Vol. 7. – №. 8. – С. 617.

## ВОЗМОЖНОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ С ДОМИНИРОВАНИЕМ *JUNIPERUS COMMUNIS* L. СРЕДСТВАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ: МЕТОДИКА И МОДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Гомолко А. А., Сенько Е. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: kupalinka20@gmail.com, owsla98@gmail.com

*Работа посвящена разработке методики дешифрирования редких охраняемых сообществ с доминированием можжевельника обыкновенного по данным Landsat 8, Sentinel-2 и MODIS с использованием SAGA GIS. Применены методы классификации, спектральной нормализации и облачного маскинга. Потенциальные Карты потенциальных участков можжевельниковых зарослей покажут их пространственное распределение на территории Республики Беларусь. Методика может быть применена в природоохранной практике, оценке растительных ресурсов.*

В условиях растущей потребности в экологической информации о растительном покрове и сохранении редких растительных сообществ возрастает значение дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как инструмента идентификации и картографирования малораспространённых типов растительности и слагающих их сообществ. В данной работе предпринята попытка дешифрирования сообществ с доминированием можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) на примере модельных участков, выявленных в пределах особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь. При этом ранее не существовало методики, адаптированной для дешифрирования этих сообществ по данным дистанционного зондирования (ДЗЗ).

Исследование направлено на обоснование и адаптацию методов дистанционного зондирования Земли и геоинформационного анализа для выявления участков с доминированием можжевельника обыкновенного на территории Беларуси. В качестве эталонов используются модельные объекты, идентифицированные в ходе полевых работ.

Проведён выбор репрезентативных участков: на особо охраняемых природных территориях (Национальные парки «Нарочанский» и «Браславские озёра»), а также участки, не входящие в лесной фонд (Каменецкий р-н), на которых были обнаружены и описаны растительные сообщества с доминированием можжевельника. Для каждого региона загружены соответствующие спутниковые снимки (Landsat 8, в перспективе - Sentinel-2 и MODIS, обладающих высокой спектральной чувствительностью и частотой съёмки), затем была реализована процедура повышения пространственного разрешения изображения с применением метода главных компонент [1].

Для создания композитных изображений использовались сочетания каналов B5-B4-B3, B6-B5-B4 и B7-B6-B4, традиционно используемых при дешифрировании древесных и кустарниковых пород [2]. Для устранения облачности применены инструменты маскирования облаков на основе фильтра Fmask в среде QGIS, что позволило повысить достоверность данных.

Нормализация спектральных характеристик каналов проведена с целью приведения значений яркостей всех спектральных каналов к одному диапазону. Анализ пространственного распределения растительности реализован через неконтролируемую классификацию (Cluster Analysis) с постклассификационной коррекцией, включающей объединение спектральных классов в тематические и редактуру растра [3].

Контролируемая классификация проведена на основе обучающих выборок, сформированных по эталонным объектам на изображении, с учётом их спектральных характеристик и статистических параметров. Для повышения точности построены векторные полигоны обучающих участков, позволяющие учитывать пространственную изменчивость внутри информационных классов. Дополнительно проведена векторизация результатов

классификации и построение матрицы ошибок, что обеспечило оценку достоверности выявления можжевеловых сообществ.

В рамках методологического подхода планируется использовать сочетание данных дистанционного зондирования с результатами наземных обследований модельных участков. Подход опирается на апробированные методы машинного обучения и геоанализа, в том числе на разработки, демонстрирующие успешную интеграцию спектральных данных с натурными материалами [4].

В результате первого этапа полевых обследований были выделены и описаны репрезентативные модельные участки сообществ, характеризующиеся доминированием можжевельника обыкновенного. На их основе начата систематическая обработка спутниковых изображений Landsat 8, Sentinel-2 и MODIS, включающая повышение пространственного разрешения, маскировку облачности и формирование спектральных композитов, с целью подготовки данных для классификации. Планируется расширение набора модельных объектов до 10–15, что позволит повысить точность спектральной идентификации сообществ и сформировать картографическую основу для их последующего выявления на всей территории Республики Беларусь.

#### **Список литературы**

1. Цыдыпова, М. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли и цифровой модели рельефа для картографирования лесов особо охраняемых природных территорий (на примере Забайкальского национального парка) / М. В. Цыдыпова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2021. – № 38. – С. 100–115.
2. Васильев, А. В. Информационная технология обработки данных ДЗЗ для оценки ареалов растений / А. В. Васильев, Т. М. Егорова // Компьютерная оптика. – 2018. – № 42(6). – С. 1030–1036.
3. Ничипорович, З. А. Опыт автоматизированной классификации растительности реабилитируемых торфяников по ДДЗ с использованием специальных программных средств / З. А. Ничипорович, В. С. Микуцкий // Геоматика: образование, теория и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Минск: БГУ, 2019. — С. 152–155.
4. Duarte, E. Monitoring approach for tropical coniferous forest degradation using remote sensing and field data / Duarte E. [et al.] // Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – №. 16. – С. 2531.

## СОСНОВО-ЕЛОВЫЕ ЛЕСА ЗАКАЗНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: РЕЗУЛЬТАТЫ 15-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

Добронравина В. Н.<sup>1</sup>, Волкова Е. А.<sup>1</sup>, Храмцов В. Н.<sup>1</sup>, Кушневская Е. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург,  
Российская Федерация

*e-mail: dobbronravina.v@yandex.ru, evolkova305@gmail.com, teberda1350@gmail.com*

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Российская  
Федерация

*e-mail: elly.kushn@gmail.com*

*Была исследована динамика сосново-еловых лесов заказников «Гладышевский» и «Комаровский берег» в 2006–2024 гг. Доля сосны в запасе древостоя и численности стволов постоянно весь период наблюдения. Выявлен рост общего видового разнообразия, связанный с рядом факторов, однако значимых изменений в составе и структуре нижних ярусов сообществ не зафиксировано.*

На особо охраняемых природных территориях Санкт-Петербурга с 2006 г. сотрудниками Ботанического института РАН и Санкт-Петербургского государственного университета ведется мониторинг растительности на постоянных пробных площадях (ППП). Его данные используются для выявления изменений в сообществах (происходящих под влиянием как природных, так и антропогенных факторов) и оценки их состояния в целом, что, в свою очередь, необходимо для сохранения и рационального использования растительности [3]. В данной работе приводятся результаты 15–16-летнего мониторинга сосново-еловых лесов (на сосну в них приходится не менее 30 % запаса). Эти сообщества вызывают особый интерес, так как вопрос об их стабильности и скорости перехода в ельники остается открытым [1, 2].

Сосново-еловые леса изучали на 3 ППП, расположенных в двух заказниках – «Гладышевский» и «Комаровский берег», где представлены сосново-еловый чернично-зеленомошно-сфагновый лес (ГЗ-3, площадь 2500 м<sup>2</sup>), сосново-еловый кислично-черничный лес (КБ-4, площадь 2500 м<sup>2</sup>) и сосново-еловый кислично-чернично-сфагновый лес (КБ-6, площадь 1750 м<sup>2</sup>). Средний возраст ели в исследованных сообществах – около 80 лет, сосны – 90 лет на КБ-4 и КБ-6 и 140 лет на ГЗ-3. Для КБ-4 и КБ-6 использовались данные мониторинга 2006–2021 гг., для ГЗ-3 – 2008–2024 гг. В ходе каждого наблюдения проводили таксацию древостоя, подроста и подлеска и выявляли полный видовой состав сосудистых растений, мохообразных и лишайников. Изменения в видовом составе этих групп оценивались при помощи индекса биотической дисперсии Коха. Для напочвенных видов определяли проективное покрытие на учетных площадках 1×1 м в 20-кратной повторности (в 2006 г. на КБ-4 и КБ-6 – 10-кратной). Для оценки временной динамики на основе этих данных были построены NMDS-ординации (использовалась дистанция Брэя-Кертиса).

Изменение общего запаса древостоя для каждой ППП индивидуально. В целом на КБ-4 и КБ-6 он увеличивается, а на ГЗ-3 рос до 2016 г., после чего стабилизировался и сохраняется на одном уровне. Общее соотношение пород по запасу на первых двух площадях постоянно, а на ГЗ-3 доля ели выросла на единицу за счет отпада березы.

Число деревьев на всех ППП уменьшилось в среднем на 27 %. Повсеместно выпало около 50 % стволов березы, на КБ-4 и КБ-6 – вся рябина и 60 % стволов черной ольхи. У ели за период между наблюдениями обычно выпадает от 3 % до 8 % стволов, у сосны – 3–5 %. Общее соотношение пород по числу стволов постоянно на ГЗ-3, на КБ-4 и КБ-6 доля ели выросла на единицу за счет отпада рябины и березы соответственно.

Численность подроста заметно колеблется между наблюдениями. В целом на ГЗ-3 она уменьшается, на КБ-4 растет, на КБ-6 общая тенденция не выражена. На всех ППП в подросте абсолютно доминирует ель. Единичные экземпляры сосны зафиксированы на КБ-4 и КБ-6. Лиственные породы присутствуют в количестве до 10%: преобладает береза,

регулярно отмечается дуб. Из подроста в древостой переходит только ель, в незначительном количестве.

Развитый ярус подлеска из нескольких видов кустарников характерен для КБ-4 и КБ-6. В целом его численность за время наблюдений выросла. Доминируют рябина (*Sorbus aucuparia* L.) и крушина (*Frangula alnus* Mill.).

Число видов мохообразных и лишайников растет на всех ППП, сосудистых растений – на КБ-4 и КБ-6. Относительно высокое постоянство видового состава отмечено у лишайников (среднее значение индекса биотической дисперсии Коха 73 %) и сосудистых растений (72 %). Мохообразные отличаются низким постоянством (48 %), что связано с постоянными микронарушениями (обнажение грунта в выворотах и ямах, отпад деревьев разных пород и разложение валежа) и следующими за ними восстановительными процессами.

Для сосудистых растений общих для всех ППП тенденций в появлении или исчезновении видов не отмечено. На КБ-4 и КБ-6 поселяются бореальнолесные (*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Lycopodium annotinum* L.), геминеморальные (*Anemonoides nemorosa* L., *Stellaria holostea* L.), опушечно-лесные (*Convallaria majalis* L., *Melandrium dioicum* (L.) Coss. & Germ.) и болотно-лесные (*Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy, *Viola epipsila* Ledeb.) виды. Появление на КБ-6 сорных видов (*Chelidonium majus* L., *Rumex crispus* L.) объясняется отсыпкой на нее грунта, который образовался после прочистки близлежащих дренажных канав. Из мохообразных на все ППП вселяются обычные лесные виды (*Dicranum* spp., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.), эпиксильные печеночники (*Lophozia guttulata* (Lindb. et Arnell) A. Evans, *Herzogiella seligeri* (Brid.) Z. Iwats.), на обнаженную почву (ямы, вывороты, порои кабанов) – виды нарушенных местообитаний (*Polytrichum* spp., *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb.). Изменения видового состава лишайников происходят в основном за счет эпифитных (*Biatora helvola* Körb. ex Hellb., *Graphis scripta* (L.) Ach.) и эпиксильных (*Absoconditella lignicola* Vězda et Pišút, *Placynthiella uliginosa* (Schrad.) Coppins & P. James) видов.

Ординационные диаграммы показывают отсутствие значимых изменений в составе и структуре нижних ярусов на всех ППП. Смены доминантов не происходит. Многие из появившихся или исчезнувших видов присутствовали единично, поэтому их вклад в динамику соответствующих характеристик сообществ незначителен.

Результаты мониторинга свидетельствуют, что на всех ППП идет активное самоизреживание древостоя; с выпадением лиственных пород увеличивается его однородность. Учитывая почти полное отсутствие подроста сосны, ее участие в сообществах будет постепенно уменьшаться. Однако при сохранении нынешних величин отпада и перехода из подроста в древостой сосны и ели, а также с учетом большей средней продолжительности жизни сосны (350 лет против 250 у ели) этот процесс будет идти достаточно медленно. На всех ППП отмечен рост общего биоразнообразия. Появление новых видов часто вызвано природными и антропогенными нарушениями. В нижних ярусах сообществ направленных изменений не наблюдается. В целом исследованные сообщества на данный момент представляются относительно стабильными.

#### Список литературы

1. Громцев, А. Н. Динамика коренных таежных лесов в европейской части России при естественных нарушениях / А. Н. Громцев // Актуальные проблемы геоботаники: III Всеросс. школа-конф.: лекции, Петрозаводск, 23–29 сентября 2007 г. // Карельский науч. центр РАН; редкол.: А.М. Крышень (отв. ред.) [и др.]. – Петрозаводск, 2007. – С. 283–301.
2. Данилов, Д. А. Особенности распространения смешанных хвойных древостоев в Лужско-Волховском ландшафтном округе / Д. А. Данилов, А. А. Яковлев // Известия С.-Пет. лесотех. акад. – 2021. – Вып. 234. – С. 80–101.
3. Динамика лесных ландшафтов Санкт-Петербурга по данным мониторинга особо охраняемых природных территорий / Г. А. Исаченко, Е. А. Волкова, В. Н. Храмов // Известия Рус. геогр. общ-ва. – 2018. – Т. 150. – С. 19–43.

## ОТКЛИК *GALIUM VERUM* К АГРОХИМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПОЧВЫ НА ЛУГОВОЙ КАТЕНЕ В ДОЛИНЕ РЕКИ НЕМАН

Дятчик А. С., Созинов О. В.

УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь  
e-mail: anastasia\_dyatchik@mail.ru

Изучены особенности изменения реактивности и порога чувствительности *Galium verum* к агрохимическим характеристикам почвы (Р, К, рН) в долине реки Неман (окр. г. Гродно). Минимальные значения реактивности вида с максимальным порогом чувствительности к агрохимическим факторам, а также относительно высокая встречаемость (>40 %), отмечены в фитоценозах склона второй надпойменной террасы (*Piloselletum sedumoso-pectuosum*) и 2-й надпойменной террасы (*Calamagrostetum fragarioso-pectuosum*), что соответствует условиям, близким к синэкологическому оптимуму подмаренника настоящего.

Ксеротермные суходольные луга на катенах являются рефугиумами охраняемых видов растений и входят в группу редких биотопов на территории Республики Беларусь [5]. Луговая катена представляет собой последовательность взаимозависимых местообитаний, вытянутых цепочкой вдоль геоботанического профиля с закономерным изменением экологических условий, определяемым рельефом местности [7].

Исследования фитоценотической структуры луговой катены в долине р. Неман (~ 1 км на восток от д. Пригодичи) проводили в июне 2024 года. На топографическом градиенте южной экспозиции заложен геоботанический профиль, длиной 110 м с серией пробных площадей (n = 9) по 100 м<sup>2</sup> через две надпойменные террасы. Проведено нивелирование склона от I надпойменной террасы до склона коренного берега. На каждой пробной площади закладывали по 50 учетных площадок (УП) по 0,25 м<sup>2</sup>. Проводили геоботанические описания фитоценозов со снятием проективного покрытия каждого вида растения, включая эпигейные мохообразные и лишайники на 450 учетных площадках в пределах 9 ППП. Критические таксоны определяли по [2, 6]. Около 100 гербарных образцов с геоботанического профиля хранятся в GRSU, MSK, LE, MW.

Для получения агрохимических данных, в центральной части каждой ППП осуществляли отбор почв на глубине ~ 15 см в пределах корнеобитаемого горизонта, с последующим анализом в лаборатории НИИ «Щучинский районный агрохимотдел Гроднооблаграхимизации».

Для изучения связей проективного покрытия (% / 0,25 м<sup>2</sup>) вида растения с экологическими факторами использовали показатель реактивности [3]. Под реактивностью подразумеваем – изменение признака растения на единицу изменения экологического фактора. Реактивность =  $(x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)$ , где  $x_1$  – начальное значение признака,  $x_2$  – конечное значение признака,  $y_1$  – начальное значение фактора,  $y_2$  – конечное значение фактора. А также определяли порог чувствительности модельного вида по проективному покрытию (%) на изменение агрохимических характеристик почвы. Порог чувствительности – это разница в значениях экологического фактора, которую вид способен различить, изменив значение признака. ПЧ = (ошибка) / (реактивность) [4,8].

Изучение реактивности и порога чувствительности к агрохимическим характеристикам почвы проводили на примере *Galium verum* L. (подмаренник настоящий) – доминантного вида со 100% встречаемостью на катене.

В результате обработки полученных данных нами выявлено, что реактивность *Galium verum* в пределах амплитуды изменчивости рН неодинакова. Самая высокая реактивность вида, относительно других факторов, к рН – в диапазоне от 5,7 до 5,8 рН составила 1,9 %/0,25 м<sup>2</sup>/0,1 рН. Поскольку визуально различить проективное покрытие с разницей 1,9 % практически невозможно, то порог чувствительности явно больше 0,1 рН. Минимальная реактивность и максимальные значения порога чувствительности к агрохимическим характеристикам почвы (К, Р, рН) ценопопуляций *G. verum*, при относительно максимальной встречаемости в пределах ППП (>40 %), отмечены в сообществах склона второй

надпойменной террасы (*Piloselletum sedumoso-pectucosum*) и 2-й надпойменной террасы (*Calamagrosetum fragarioso-pectucosum*). Пороги чувствительности в данных условиях: К (34 мг/кг/1 %/0,25 м<sup>2</sup>), Р (138 мг/кг/1 %/0,25 м<sup>2</sup>), рН (1,19 рН/1 %/0,25 м<sup>2</sup>) при минимальной реактивности вида К (0,009 %/мг/кг), Р (0,003 %/мг/кг), рН (0,45 %/рН) показывают близость к синэкологическому оптимуму вида (таблица 1) [4]. Минимальный порог чувствительности К (0,6 мг/кг/1 %/0,25 м<sup>2</sup>), Р (0,06 мг/кг/1 %/0,25 м<sup>2</sup>), рН (0,02 рН/1 %/0,25 м<sup>2</sup>) образуется на первой надпойменной террасе и склоне коренного берега, где формируются субоптимальные условия для *G. verum*.

Показательно, что наибольший уровень освещенности (L=7,4), кислотности почв (R=4,5) и богатства азотом (N=5,2) также выявлен в фитоценозах склона 2-й надпойменной террасы (*Piloselletum sedumoso-pectucosum*) и 2-й надпойменной террасы (*Calamagrosetum fragarioso-pectucosum*) [1].

**Таблица 1 – Реактивность и порог чувствительности *Galium verum* по проективному покрытию на изменчивость агрохимических характеристик почвы луговой катены**

|                   | Диапазон фактора | Реактивность (%/1 градация фактора) | Порог чувствительности                                                         |                              |
|-------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                   |                  |                                     | Единицы фактора (мг/кг/1 %/0,25 м <sup>2</sup> ) (рН/1 %/0,25 м <sup>2</sup> ) | Доля от амплитуды фактора, % |
| Калий (К) мг/кг   | 40–58            | 0,05                                | 8                                                                              | <b>44,4</b>                  |
|                   | 58–69            | 0,24                                | 2,5                                                                            | 22,7                         |
|                   | 69–77            | 0,44                                | 1,17                                                                           | 14,6                         |
|                   | 77–178           | 0,03                                | 15,2                                                                           | 15,04                        |
|                   | 178–181          | 0,8                                 | 0,6                                                                            | 2                            |
|                   | 181–272          | 0,009                               | <b>34</b>                                                                      | 37,4                         |
| Фосфор (Р) мг/кг  | 85–106           | 0,12                                | 8,5                                                                            | <b>40,5</b>                  |
|                   | 106–132          | 0,08                                | 7,5                                                                            | 29                           |
|                   | 132–147          | 0,19                                | 2,6                                                                            | 17,3                         |
|                   | 147–210          | 0,02                                | 17,5                                                                           | 27,8                         |
|                   | 210–440          | 0,003                               | <b>138</b>                                                                     | 60                           |
| рН <sub>KCl</sub> | 4,5–5            | 3,4                                 | 1,18                                                                           | <b>44</b>                    |
|                   | 5–5,2            | 13                                  | 0,05                                                                           | 25                           |
|                   | 5,2–5,5          | 6,7                                 | 0,09                                                                           | 30                           |
|                   | 5,5–5,7          | 14,5                                | 0,04                                                                           | 20                           |
|                   | 5,7–5,8          | 19                                  | 0,02                                                                           | 20                           |
|                   | 5,8–6,9          | 0,45                                | <b>1,19</b>                                                                    | 10,8                         |

Примечание: полужирным шрифтом выделены максимальные значения порога чувствительности

В целом, выявлено достоверное ( $p < 0,05$ ) влияния эдафических факторов на обилие (%/0,25 м<sup>2</sup>) *G. verum*: Р:  $\eta_2 \pm m_{\eta_2} = 89,8 \pm 0,16\%$ ; К:  $\eta_2 \pm m_{\eta_2} = 36,53 \pm 5,08\%$ ; рН:  $\eta_2 \pm m_{\eta_2} = 20,14 \pm 4,8\%$ .

Таким образом, пластичная экологическая толерантность *G. verum* к эдафическим факторам почвы позволяет виду произрастать в условиях неоднородной структуры рельефа (склон, терраса) на суходольных лугах склонов долин рек.

#### Список литературы

1. Ellenberg, H. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer // H. Ellenberg. – 1996. – Sicht. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart. – 1096 s.
2. Атлас видов и определитель растений [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/landscape/id/56365.html> (дата обращения: 30.04.2025).
3. Ипатов, В. С. Фитоценология / В. С. Ипатов, Л. А. Кирикова. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 1998. – 314 с.
4. Ипатов, В. С. Реактивность и чувствительность видов к экологическим факторам / В. С. Ипатов, Л. А. Кирикова // Ботанический журнал. – 2001. – Т. 86, №3. – С. 80–86.

5. Правила выявления типичных и (или) редких биотопов, типичных и (или) редких природных ландшафтов, оформления их паспортов и охранных обязательств. Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир: ТКП 17.12-06-2021(33140). – Введ. 17.12-06-2021(33140). – Минск, 2021. – 43с.

6. Рыковский, Г. Ф. Флора Беларуси. Мохообразные. В 2 т. / Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский / под ред. В. И. Парфенова. Минск. 2004. Т. 1. 437 с.

7. Созинов, О. В. Ресурсная характеристика ценопопуляций *Vaccinium vitis-ideae* (Erycaceae) в Гродненской области (Республика Беларусь) / О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2014. – Т. 50. – №3. – С. 337–346.

8. Созинов, О. В. Флуктуации эколого-ботанических характеристик растительности луговой катены (Карельский перешеек) / О. В. Созинов [и др.] // Ботанический журнал. – 2022. – Т. 107, №11. – С. 1067–1082.

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ  
ОСВЕЩЕННОСТИ И СОЛЕНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНОГО  
МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ЕЛОВОЕ**

Иванова Д. А.<sup>1</sup>, Лабунская Е. А.<sup>1</sup>, Воронов Д. А.<sup>2</sup>, Лобышев В. И.<sup>1</sup>,  
Радченко И. Г.<sup>1</sup>, Краснова Е. Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: da.ivanova99@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН», г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова Биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, пос. Приморский, Российская Федерация

*Исследование фитопланктона меромиктического озера Еловое с использованием ОЛР-протокола выявило стратификацию фотосинтетической активности: максимальные значения  $Fv/Fm$  (0.54) и  $Pi\_ABS$  (0.30) зарегистрированы в хемоклине, тогда как в верхних слоях активность снижена из-за лимита биогенов. Спектральный анализ света показал адаптацию сообществ к вертикальному градиенту освещения – золотистые водоросли доминировали в обогащённом сине-фиолетовым светом верхнем слое, а криптофитовые – в глубинной зоне с преобладанием жёлто-красного излучения.*

Изучение физиологического состояния планктонных фототрофов является важной задачей в экологии водоемов. Одним из современных и эффективных методов оценки фотосинтетической активности фитопланктона является ОЛР-протокол, основанный на анализе кинетики быстрой флуоресценции хлорофилла. Этот подход позволяет оценивать ключевые параметры фотосинтетического аппарата, такие как эффективность поглощения света, переноса электронов и активность фотосистем, что особенно важно при исследовании воздействий факторов среды на фитопланктон.

В данной работе рассматривается применение ОЛР-протокола для анализа физиологического состояния фитопланктонных сообществ, населяющих разные слои меромиктического озера Еловое (66°28'55"N, 33°16'49"E; площадь водного зеркала – 5 га, максимальная глубина – 5,5 м), которое отделилось от Белого моря в результате послеледникового поднятия суши [1].

Исследование проводили 26 июня 2025 г. Соленость воды определяли погружным кондуктометром YSI Pro. Освещенность на разных горизонтах водоема измеряли люксметром LuxLiner LMI-20, модифицированным для подводных измерений, калибровку люксметра проводили на поверхности с использованием квантометра Li-190 Quantum Sensor. Спектры солнечного излучения под водой записывали в диапазоне 200–887 нм при помощи спектрометра Ocean Optics USB 4000, соединенного с погружным оптоволоконным кабелем 7 × UV200/220/290A1. Полученные спектры были скорректированы с учетом данных по освещенности на разных глубинах. Для изучения структуры фитопланктона отбирали пробы воды объемом 1 л погружным насосом Whale Premium Submersible Pump GP1352 с горизонтов 0,5 м, 1,5 м и 2,3 м (хемоклин), фиксировали формалином и концентрировали отстаиванием. Клетки водорослей идентифицировали и просчитывали в счетной камере Нажотта под световым микроскопом МИКМЕД-6 при увеличении ×400. Для определения физиологического состояния фитопланктона нефиксированные и темноадаптированные пробы анализировали на AquaPen 110-C в режиме «ОЛР».

Соленость оз. Еловое на 0,5 м составляла 0 ‰, на 1,5 м – 12,9‰, в хемоклине – 15,8 ‰.

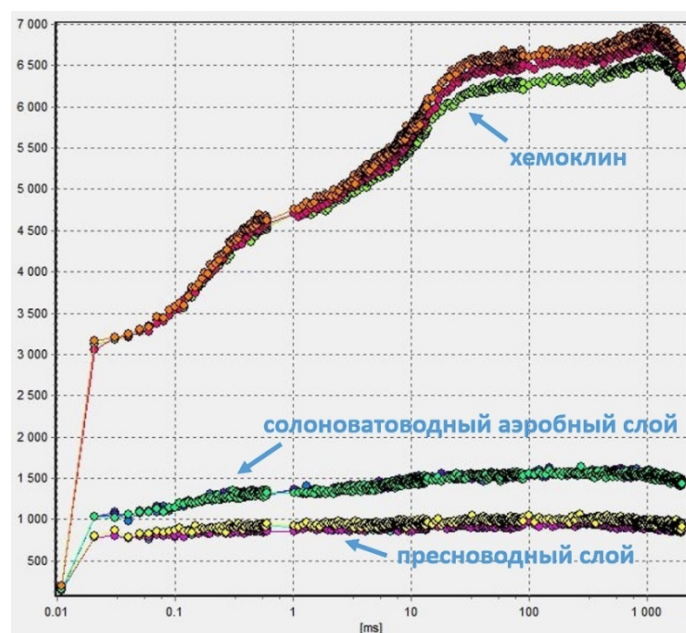
На горизонте 0,5 м наибольшей численности достигали золотистые водоросли *Dinobryon divergens* (86 тыс. клеток/л) и *Kephyrion* sp. (357 тыс. клеток/л), а также нитчатая цианобактерия *Pseudoanabaena limnetica* (92 тыс. клеток/л); на горизонте 1,5 м – неидентифицированные криптофитовые водоросли sp. 1 (1,5 млн клеток/л) и sp. 2 (1 млн

клеток/л); в хемоклине – неидентифицированные криптофитовые водоросли sp. 2 (34 млн клеток/л).

Фитопланктон стратифицированного по солености оз. Еловое демонстрировал, в целом, низкие значения параметров фотосинтетической активности (таблица). Ситуация в хемоклине была несколько лучше, судя по каноничной форме ОЛР-кривой (рис. 1) [5] и более высокому соотношению  $F_v/F_m$ . Скорее всего, в пресноводном и солоноватоводном аэробном слоях сниженная скорость переноса электронов связана с недостатком биогенных элементов [4] и компенсируется, предположительно, способностью к миксотрофии у доминирующих видов [2, 3].

**Таблица – Значения избранных параметров, рассчитанных с помощью ОЛР-протокола для трех горизонтов.  $F_v/F_m$  отражает максимальную квантовую эффективность фотосистемы II;  $P_i\_ABS$  – общую функциональную эффективность фотосинтетического аппарата, учитывая плотность активных реакционных центров фотосистемы II, эффективность переноса электронов и способность к диссипации избыточной энергии;  $\Psi_0$  – вероятность переноса электронов от первичного хинонного акцептора QA к вторичному акцептору QB в фотосистеме II**

|                  | $F_v/F_m$       | $P_i\_ABS$      | $\Psi_0$        |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,5 м            | $0,27 \pm 0,03$ | $0,04 \pm 0,01$ | $0,51 \pm 0,12$ |
| 1,5 м            | $0,40 \pm 0,02$ | $0,08 \pm 0,01$ | $0,51 \pm 0,04$ |
| 2,3 м (хемоклин) | $0,54 \pm 0,01$ | $0,30 \pm 0,02$ | $0,55 \pm 0,01$ |



**Рисунок 1 – ОЛР-кривые, полученные для фитопланктонных сообществ разных горизонтов**

В оз. Еловое наиболее резкие изменения спектрального состава света происходят в верхних 1,5 м воды (рис. 2): сине-фиолетовая часть спектра сильно ослабляется, вероятно, из-за поглощения окрашенным растворенным органическим веществом. Этот слой соответствует опресненной зоне до пикноклина. На глубине 1,5–2,4 м изменения слабее: доля зеленого света снижается с 19 % до 15 %, а красного – увеличивается с 44 % до 49 %, тогда как желтый, оранжевый и дальний красный свет почти не меняются. Глубже всего проникает желто-оранжево-красный свет (551–707 нм): 1 % поверхностного излучения достигает 2 м (рис. 3). До 2,3 м (слой криптофитовых водорослей с фикоцианинами) доходит 0,5 % света в диапазоне 576–671 нм, что соответствует максимумам поглощения фикоцианинов (580, 630 и 645 нм). В верхних 0,5 м сохраняется не менее 0,5% сине-фиолетового света (от 434 нм), пригодного для фукоксантиносодержащих антенн золотистых водорослей, доминирующих в этом слое.

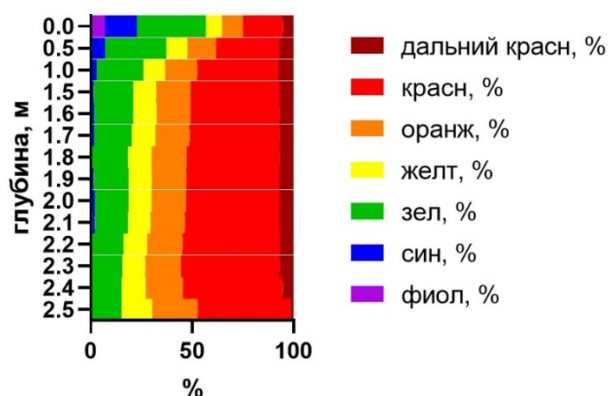


Рисунок 2 – Спектральный состав света на разных глубинах оз. Еловое. Границы цветов определены по CRC Handbook (82<sup>nd</sup> edition): фиолетовый 380–449 нм, синий 450–499 нм, зеленый 500–559 нм, желтый 560–579 нм, оранжевый 580–619 нм, красный 620–699 нм, дальний красный 700–740 нм

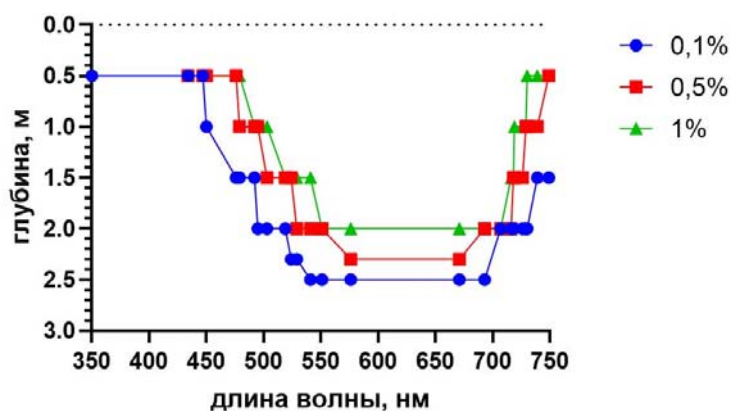


Рисунок 3 – Распространение света разных длин волн в оз. Еловое. Диаграмма отражает проникновение 1 %, 0,5 % и 0,1 % от интенсивности света на поверхности для разных длин волн

Таким образом, исследование выявило стратификацию фотосинтетической активности фитопланктона в озере Еловое, с наиболее благоприятными условиями в хемоклине, где выше эффективность фотосистемы II и общая фотосинтетическая производительность, в отличие от обедненных биогенами верхних слоев. Адаптация сообществ к спектральному составу света подтверждает связь между оптической средой и доминированием специфических таксонов (золотистых и криптофитовых водорослей) в разных горизонтах.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-24-00008.*

#### Список литературы

1. Краснова, К. инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря / Краснова Е. Д. [и др.] // Труды Беломорской биостанции МГУ. – 2016. – Т. 12. – С. 211–241.
2. Holen, D. A. Mixotrophy in chrysophytes / D. A. Holen, M. E. Boraas // Chrysophyte algae: ecology, phylogeny and development. – 1995. – P. 119-140.
3. Koppelle, S. Contrasting responses of different mixotrophic protists to light and nutrient availability / Koppelle S. [et al.] // Limnology and Oceanography. – 2024. – Vol. 69. – № 5. – P. 1233-1246.
4. Krasnova, E. D. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea / E. D. Krasnova // Journal of Oceanology and Limnology. – 2018. – Vol. 36. – № 6. – P. 1962-1977.
5. Strasser, R. J. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples / Strasser R. J. [et al.] // Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation. – 2000. – Vol. 25. – P. 445-483.

## СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ КАК ИНДИКАТОР ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЁР БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

Карпаева А. Ю.

Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com

Анализ рангового распределения фитопланктона в озёрах Белорусского Поозерья показал, что степень равномерности численности видов тесно связана с трофическим статусом водоёмов. В мезотрофных и мезотрофных с чертами олиготрофии озёрах распределение более пологое, что отражает высокое таксономическое разнообразие и сбалансированную структуру сообществ. В эвтрофных и особенно гиперэвтрофных озёрах наблюдается резкое доминирование 1–3 видов, приводящее к снижению видового разнообразия.

Введение. Изучение структуры фитопланктонных сообществ в озёрах разного трофического статуса является важным направлением современной гидробиологии. Особое значение имеет анализ рангового распределения видов, отражающего соотношение доминирующих и редких таксонов, а также степень равномерности их численности.

Белорусское Поозерье является уникальным природным регионом, включающим озёра различного происхождения и морфометрии, среди которых эвтрофные (Потех, Горушка, Отолово, Чертсвятское), мезотрофные (Обстерно, Вечелье) и мезотрофные с чертами олиготрофии (Кривое, Северный и Южный Волос) [1].

Анализ рангового распределения видов для этих озёр позволяет оценить доминирующие комплексы, а также выявить переход от равномерных структур (характерных для мезотрофных и близких к олиготрофным водоёмов) к сообществам с резким доминированием немногих видов (присущим эвтрофным и гиперэвтрофным озёрам). Понимание этих закономерностей имеет ключевое значение для диагностики трофического статуса, прогнозирования динамики экосистем и разработки мероприятий по их охране и рациональному использованию.

Материалы и методы. Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, отобранные на 9 озерах разного трофического статуса Белорусского Поозерья в вегетационный сезон 2023–2024 гг.

Отбор проб проводили батометром системы Молчанова объемом 8 л последовательно с поверхности, половины прозрачности и двойной прозрачности, смешивая затем в одну интегральную. Пробы воды фиксировали формалином 2 %. Концентрировали фитопланктон методом отстаивания от изначального объема 0,5 л. Численность фитопланктона определяли счетным методом в камере Фукса-Розенталя. Для оценки количественного развития фитопланктона в работе использовали стандартные методы гидробиологии [2].

Видовой состав фитопланктона определяли с помощью светового микроскопа фирмы CarlZeiss (модель AxioStarplus) при увеличении x100, x200 и x400.

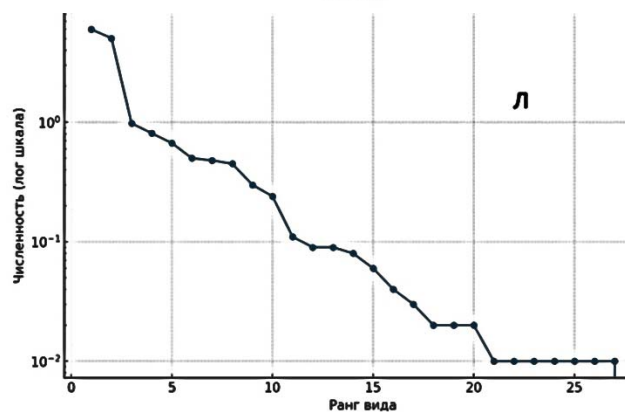
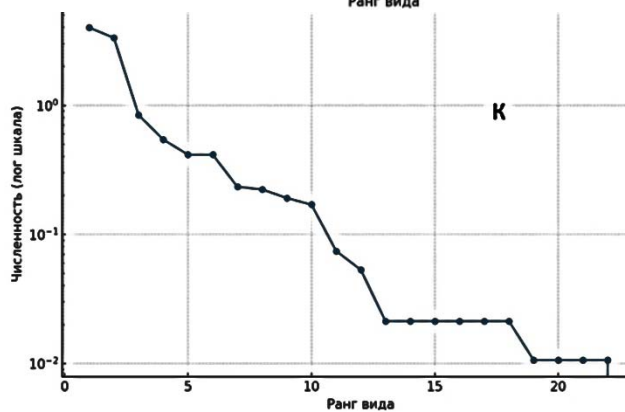
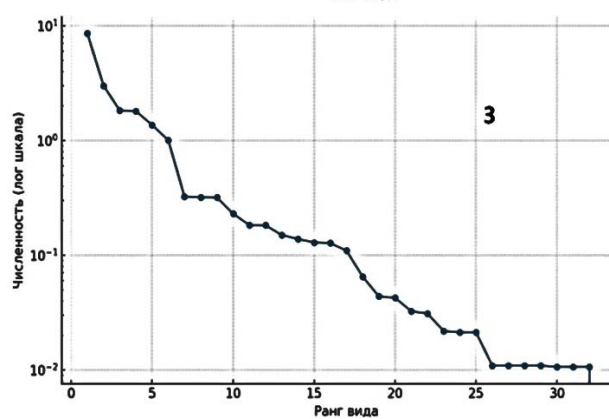
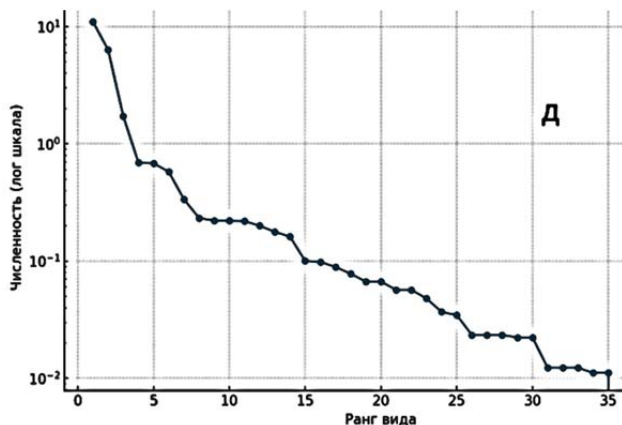
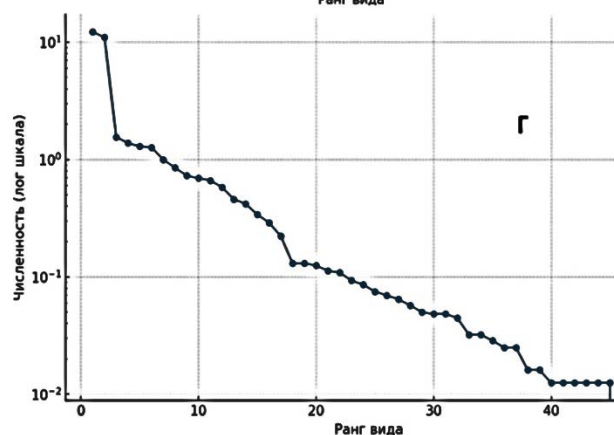
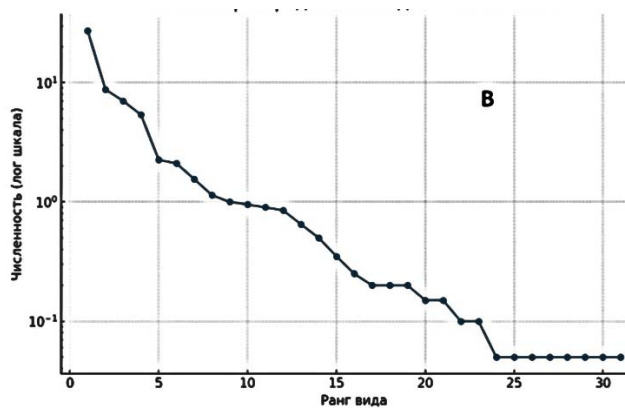
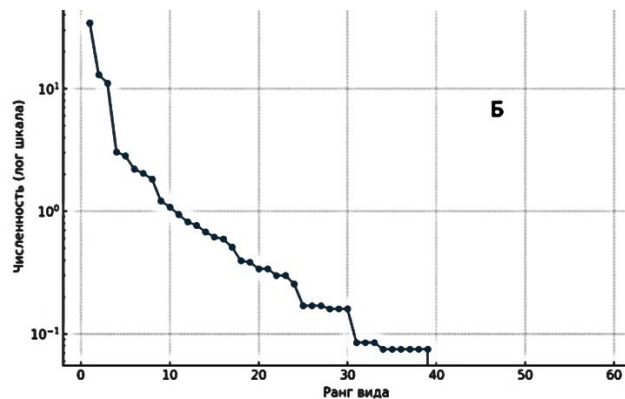
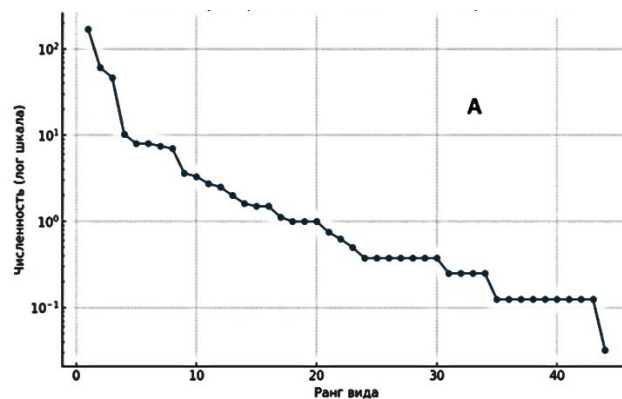
Результаты и обсуждения. В результате исследования были выявлены следующие закономерности:

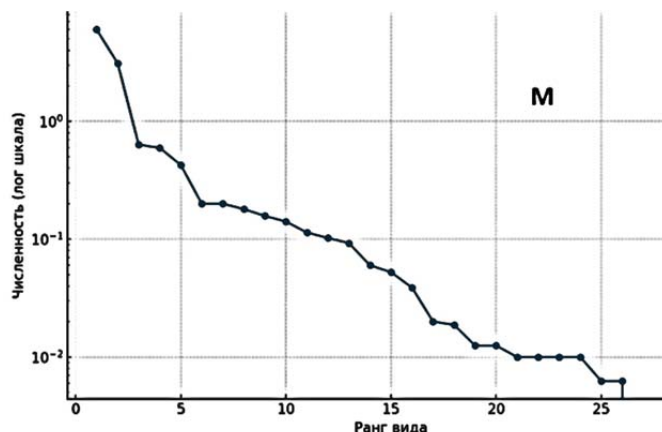
В гиперэвтрофном оз. Чертсвятское наблюдается резкое доминирование нескольких видов (*Planctolynghya limnetica*, *Limnotrix planctonica*), что выражается в резком падении кривой распределения. Для этого озера характерно высокая численность нескольких видов синезеленых водорослей, при низкой численности всех остальных видов.

В остальных эвтрофных озёрах (Потех, Горушка, Отолово) распределение более пологое, но всё же 2–3 доминанта (*Cyclotella* sp., *Rhodomonas pusilla*, *Microcystis* spp.) вносят основной вклад в общий процент численности. В мезотрофных и мезотрофных с чертами олиготрофии (Кривое, Вечелье, Обстерно, Северный и Южный Волос) кривые распределения более вытянутые и плавные, поскольку численность видов распределена

равномернее, что указывает на большее таксономическое разнообразие и отсутствие одного резко преобладающего вида.

В целом, с ростом трофности озёр кривая рангового распределения становится более резкой, что отражает переход от равномерного распределения численности к доминированию нескольких таксонов.





**Рисунок 1 – Ранговое распределение видов в озерах разного трофического статуса Белорусского Поозерья (А-Чертсвятское; Б-Потех; В-Отолово; Г-Горушка; Д- Обстерно; З-Вечелье; К-Кривое; Л-Северный Волос; М-Южный Волос)**

**Заключение.** Анализ рангового распределения фитопланктона в озёрах Белорусского Поозерья показал, что степень равномерности численности видов тесно связана с трофическим статусом водоёмов. В мезотрофных и мезотрофных с чертами олиготрофии озёрах распределение более пологое, что отражает высокое таксономическое разнообразие и сбалансированную структуру сообществ. В эвтрофных и особенно гиперэвтрофных озёрах наблюдается резкое доминирование 1–3 видов, приводящее к крутым ранговым кривым и снижению видового разнообразия. Эти различия указывают на высокую индикаторную значимость рангового анализа для оценки состояния и устойчивости озёрных экосистем.

#### Список литературы

1. Общая лимнология [Электронный ресурс] : пособие для студентов геогр. фак. / П. С. Лопух, О. Ф. Якушко. – Минск : БГУ, 2011
2. Mikheyeva, T. M. Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) / T. M. Mikheyeva // Hydrobiological Journal. – 1989. – Vol. 25. – P. 3–21.

## ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ СТВОЛОВЫХ НЕМАТОД В НАСАЖДЕНИЯХ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ВЕТРОВАЛАМИ В 2024 ГОДУ

Кобзарь-Шпиганович А. В.

Государственное научное учреждение «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: alta.zorge@mail.ru

*В обследованных сосновых и еловых насаждениях Могилевской и Гомельской области, пострадавших от ветровалов 2024 года, обнаружены стволовые фитопаразитические нематоды *Bursaphelenchus* sp и *Cryptaphelenchus* sp., идентифицирован 1 вид *Bursaphelenchus andrassyi* Dayi, Calin, Akbulut, Gu, Schröder, Vieira & Braasch, 2014. Карантинной сосновой стволовой нематоды в обследованных насаждениях не обнаружено.*

В связи с напряженной санитарной обстановкой в лесах Беларуси и высокой вероятностью инвазии *Bursaphelenchus xylophilus* в стране активно изучаются стволовые нематоды хвойных и лиственных пород [1, 2, 3]. Значительная часть потенциально вредоносных фитопаразитических стволовых нематод симбиотически связана с ксилофагами, в том числе упомянутая сосновая стволовая нематода, поэтому, в условиях, благоприятных для увеличения численности популяции насекомых, требуется особое внимание к видовому составу сопутствующих им нематод.

По данным Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «Беллесозащита» в 2024 году неблагоприятные погодные условия стали причиной повреждения 96,2 % погибших лесных насаждений на площади 78,2 тыс. га, что почти в 5 раз больше по сравнению с 2023 годом, из них 98,3 % приходится на поврежденные ветром [4].

Ветровальные участки, разработка которых велась до наступления устойчивых заморозков, являются, в некотором смысле, уникальными объектами для наших лесов, сложившуюся благоприятную для развития и расселения стволовых фитопаразитических нематод ситуацию сложно смоделировать при существующей слаженной работе по обнаружению и ликвидации очагов стволовых вредителей.

Целью проведенных работ стало нематологическое обследование насаждений сосны обыкновенной и ели европейской в Могилевской и Гомельской областях, пострадавших от июльских ветровалов 2024 года, и определение видового разнообразия стволовых фитопаразитических нематод в этих насаждениях.

Нематод выделяли из древесины с признаками повреждения насекомыми ксилофагами, используя метод Бергманна и модифицированный метод Рысса [5]. Видовая принадлежность нематод установлена морфологически, после фиксации в растворе ТАФ и монтирования постоянных препаратов из осветленных по методу Сайнхорота половозрелых особей [6, 7].

На наличие стволовых фитопаразитических нематод, переносимых ксилофагами, были обследованы сосняки и ельники, пострадавшие от ветровалов, в Гомельской и Могилевской области (Белыничский, Чаусский, Могилевский, Жлобинский, Речицкий, Гомельский районы) (Рисунок 1).



Рисунок 1 — Поврежденное ветром еловое насаждение

В результате нематоды обнаружены в 86,0 % образцов. (Таблица 1).

**Таблица 1 – Результаты обследования лесного фонда и выделения нематод**

| № п/п | Район       | Отобранных объектов, шт. | Исследуемые породы  | Взятых образцов, шт. | Выявленные нематоды (определенные до рода или вида), примечания  |
|-------|-------------|--------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1     | Белыничский | 3                        | ель евр., сосна об. | 3                    | не обнаружены                                                    |
| 2     | Чаусский    | 3                        | ель евр.            | 5                    | <i>Bursaphelenchus</i> sp.,<br><i>Bursaphelenchus poligraphi</i> |
| 3     | Могилевский | 3                        | ель евр.            | 5                    | <i>Bursaphelenchus poligraphi</i>                                |
| 4     | Жлобинский  | 3                        | ель евр.            | 4                    | <i>Bursaphelenchus</i> sp                                        |
| 5     | Речицкий    | 3                        | ель евр.            | 4                    | <i>Cryptaphelenchus</i> sp.,<br><i>Bursaphelenchus</i> sp        |
| 6     | Гомельский  | 3                        | ель евр., сосна об. | 1                    | <i>Bursaphelenchus</i> sp,<br><i>Cryptaphelenchus</i> sp.        |

\* ель евр. – ель европейская, сосна об. – сосна обыкновенная

По морфологическим признакам определены нематоды 2 родов – *Bursaphelenchus* sp и *Cryptaphelenchus* sp., идентифицирован 1 вид *Bursaphelenchus andrassyi* Dayi, Calin, Akbulut, Gu, Schröder, Vieira & Braasch, 2014. Карантинной *Bursaphelenchus xylophilus* в исследованной древесине не обнаружено.

Обследованные ветровальные деревья заселялись преимущественно усачами рода *Monochamus*, серым длинноусым усачом *Acanthocinus aedilis*, вершинным сосновым усачиком *Pogonocherus fasciculatus*, короедом типографом *Ips typographus*, стенографом *Ips sexdentatus*.

#### Список литературы

1. Шпиганович, А. В. Биоэкологические особенности *Ips acuminatus* Gyll. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) в период вспышки массового размножения / А. В. Шпиганович; науч. рук. В.Б.Звягинцев // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2020». – Минск: Изд. центр БГУ, 2021. – С. 50.
2. Массовое усыхание сосновых лесов в Беларуси / В. Б. Звягинцев, А. А. Сазонов, А. Ю. Рысс // Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту: тези доповідей учасників III Міжнародної науково-практичної конференції. – Білоцерківськ: Біла Церква, 2017. – С. 56–57.
3. Анализ фитосанитарного риска опасного карантинного организма *Bursaphelenchus xylophilus* в Беларуси / А. В. Кобзарь-Шпиганович, В. Б. Звягинцев, А. Г. Прохорова // Лесное хозяйство: матер. 88-й научно-технич.конф. професс.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв.–16 февр. 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 155–156.
4. Общая характеристика лесопатологической ситуации в лесном фонде Республики Беларусь // Государственное учреждение по защите и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА». – URL: <https://bellesozaschita.by/zashhita-lesa-ot-vreditelej-i-boleznej/obshhaja-harakteristika-lesopatologicheskoy-situacii-v-lesnom-fonde-respubliki-belarus/> (дата обращения: 15.06.2025).
5. Рысс, А. Ю. Самые простые методы обнаружения стволовых нематод и их лабораторного культивирования / А. Ю. Рысс // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2015. – №. 211. – С. 287–295.
6. Фитопаразитические нематоды России / под ред. С. В. Зиновьевой, В. Н. Чинова. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 386 с.
7. Кулинич, О.А. Паразитические нематоды хвойных пород на территории России: Фауна, систематика, экология, вредоносность: дисс. ... д-ра биол.наук: 03.00.19. – Москва, 2005. – 202 с.

## АСАБЛІВАСЦІ ДЫНАМІКІ РАДЫЯЛЬНАГА ПРЫРОСТУ ДРЭЎ *PINUS SYLVESTRIS* НА БОЛЬШ І МЕНШ АСУШАНЫХ ВЕРХАВЫХ БАЛОТАХ

Комар А. Ю.

ДНЎ «Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Куправіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»,  
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь,  
e-mail: nan.botany@yandex.by

*Прадстаўлены вынікі даследавання ўплыву клімату і гідралесамеліярацыі на шырыню гадавых кольцаў дрэў *Pinus sylvestris* на верхавых балотах у Налібоцкім заказніку, Беларусь. У 1960-х і 1970-х гадах тут была пабудавана густая сетка асушальных каналаў. Да асушэння (1911-1961 гг.) рост дрэў на балотах запавольваўся з-за больш халоднай вясны. Вызначана значная пазітыўная карэляцыя радыяльнага прыросту з тэмпературамі красавіка і траўня, а таксама пазітыўная карэляцыя з ападкамі зімы (значная ў снежні). У апошні час (1986-2020 гг.) дрэвы *Pinus sylvestris* у менш асушаных насаджэннях менш адчувальныя да пагадавых ваганняў кліматычных фактараў, у той час у больш асушаных лясах значна адмоўна рэагуюць на тэмпературы траўня.*

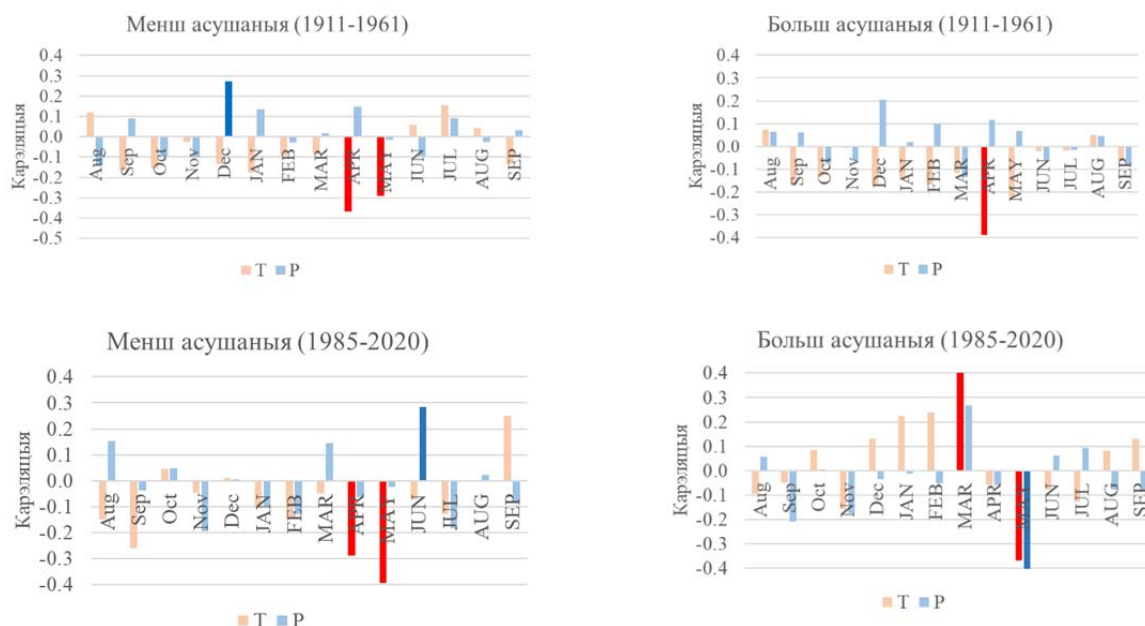
Лясы на верхавых балотах – гэта унікальныя экасістэмы, якія існуюць у спецыфічных экалагічных умовах і спалучаюць у сабе як характарыстыкі лясоў, так і адметныя рысы верхавых балотаў. Гэтыя лясы растуць у раёнах, дзе торф назапашваўся на працягу тысячагоддзяў, ствараючы забалочаныя, кіслыя і бедныя пажыўнымі рэчывамі ўмовы, якія фарміруюць спецыфічную дрэвавую расліннасць. Такія экасістэмы сутыкаюцца з шэрагам унікальных праблем з-за ўзаемадзеяння змены клімату, уласцівых гэтым умовам экалагічных характарыстык, а таксама штучнага асушвання

Калі асушванне верхавых балотаў праводзіцца для мэт лясной і сельскай гаспадаркі або здабычы торфу, іх гідралагічны рэжым кардынальна мяняецца. Кліматычныя змены пагаршаюць гэтыя праблемы, уплываючы на тэмпературу, колькасць ападкаў і агульны экалагічны баланс асушаных ландшафтаў. Ўплыў гэтых зменаў на экасістэмы добра адлюстраваны ў гадавых кольцах дрэў.

Хваёвыя лясы на верхавых балотах у межах заказніка «Налібоцкі» (53.8971, 26.4285) аднесены да тыповага варыянта асацыяцыі *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* typica var., якая адпавядае менш асушаным умовам, і да варыянту *Vaccinium myrtillus*, які характарызуе больш асушаныя ўмовы [1].

Карэляцыя паміж індэксамі прыросту і кліматычнымі параметрамі выявіла выразныя адрозненні паміж менш і больш асушанымі лясамі, асабліва пасля буйнамаштабнага асушэння (1960–1980). У адпаведнасці з прынятым парогам значнасці ( $p < 0,05$ ) было выяўлена некалькі ключавых залежнасцей (рыс. 1).

Карэляцыйны аналіз шырыні дрэвавых кольцаў *Pinus sylvestris* у залежнасці ад месячнай тэмпературы і колькасці ападкаў выявіў прыкметныя адрозненні паміж умовамі асушэння і перыядамі часу. Да асушэння (1911–1961 гг.) рост дрэў дэманстраваў значную адмоўную карэляцыю з тэмпературамі паветра ў красавіку і траўні, пры гэтым выяўлена пазітыўная залежнасць прыросту з ападкамі снежня. У менш асушаных лясах гэтыя залежнасці больш выразныя і, магчыма, звязаны з невялікімі тыпалагачнымі адрозненнямі фітацэназоў у абодвух групах да асушэння. У апошнія дзесяцігоддзі (1985–2020 гг.) у менш асушаных насаджэннях *Pinus sylvestris* назіраецца значная адмоўная карэляцыя з тэмпературамі красавіка і траўня і станоўчая на ападкі чэрвеня. У больш асушаных лясах назіраецца значная адмоўная карэляцыя да тэмпературы і ападкаў у траўні і значная станоўчая – да тэмпературы ў сакавіку.



Рысунак 1 – Карэляцця паміж індэксамі прыросту дрэў і кліматычнымі параметрамі (значныя карэляцыі вылучаныя больш інтэнсіўным колерам ( $p < 0,05$ ))

Даследаванне паказала, што ўплыў кліматычных фактараў на гадавы прырост дрэў *Pinus sylvestris* у лясх на верхавых балотах залежыць як ад ступені асушэння, так і ад кліматычных умоў розных перыядаў.

У сучасны перыяд (1985–2020 гг.) у менш асушаных насаджэннях *Pinus sylvestris* захавалася адмоўная карэляцыя гадавога прыросту з тэмпературамі красавіка і траўня, але знікла карэляцыя з ападкамі снежня і дадалася значная карэляцыя з ападкамі чэрвеня. Гэта можа сведчыць пра павелічэнне адчувальнасці да летніх засух на фоне пацяплення клімату.

У больш асушаных лясх залежнасць прыросту ад клімату амаль поўнасю змяніліся за выключэннем адмоўнай карэляцыі з тэмпературамі траўня. Зараз назіраецца значная пазітыўная карэляцыя радыяльнага прыросту з тэмпературамі сакавіка, што сведчыць пра больш ранні пачатак вегетацыйнага сезону. Таксама з'вілася адмоўная карэляцыя з ападкамі траўня.

Вынікі пацвярджаюць, што сукупнае ўздзеянне кліматычных зменаў і гідралесамеліярацыі вядзе да трансфармацыі кліматычнай адчувальнасці дрэў, прычым ступень гэтай трансфармацыі залежыць ад інтэнсіўнасці асушэння.

#### Спіс літаратуры

1. Комар, А. Ю. Синтаксономическое разнообразие мелиоративно-производных сосняков заказника «Налибокский» / А. Ю. Комар, О. В. Созинов // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 52. – С. 71–86.

## АСАБЛІВАСЦІ ФАРМІРАВАННЯ РАДЫЯЛЬНАГА ПРЫРОСТУ ДРЭЎ *ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN. ВА ВЫСОКАЎЗРОСТАВЫХ ЧОРНААЛЬХОВЫХ ДРЭВАСТОЯХ НА ТЭРЫТОРЫІ НП «БЕЛАВЕЖСКАЯ ПУШЧА»

Комар С. А.<sup>1</sup>, Комар А. Ю.<sup>1</sup>, Алейнікаў С. А.<sup>1</sup>, Белаконь В. С.<sup>2</sup>, Пянькевіч А. У.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ДНЎ «Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Куправіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі»,  
г. Мінск, Рэспубліка Беларусь  
*e-mail: nan.botany@yandex.by*

<sup>2</sup>Санкт-Пецярбургскі дзяржаўны ўніверсітэт, г. Санкт-Пецярбург, Расійская Федэрацыя  
*e-mail: spbu@spbu.ru*

Выяўлены асаблівасці фарміравання радыяльнага прыросту дрэў *Alnus glutinosa*, якія растуць ва высокаўзроставаых лясах, сфарміраваных на тарфянай і мінеральнай глебах. Пабудаваныя дрэвава-кольцавыя храналогіі адрозніваюцца высокімі каэфіцыентамі адчувальнасці і маюць добрую сінхроннасць. У двух фітацэнозах з 1984 г. назіраўся спад у радыяльным прыросце дрэў, які працягваўся да 2000 г., пасля чаго адбылося рэзкае павелічэнне шырыні гадавых кольцаў, асабліва выражанае ў чорнаалешніку на тарфяной глебе. Такія змены звязаны са зменай вертыкальнай структуры дрэвастояў, а менавіта з масавым выпадзеннем *Fraxinus excelsior* з верхняга палягу даследаваных чорнаальховых лясоў.

Нацыянальны парк «Белавежская пушча», больш за 80 % тэрыторыі якой занята лясамі, размяшчаецца ў паўднёва-заходняй частцы Беларусі [2]. Чорнаальховыя лясы шырока распаўсюджаны ў межах пушчы і займаюць каля 16% ад лясазанятай плошчы нацыянальнага парку [1]. Сярод іх сустракаюцца як карэнныя тыпы лесу, якія з'яўляюцца тыповымі фітацэнозамі лясных нізінных балот і фарміруюцца на торфе, так і вытворныя ад ельнікаў ці шырокалісцевых лясоў чорнаалешнікі кіслічныя і сніткавыя, якія растуць на мінеральных глебах [3–5]. Каб выявіць асаблівасці фарміравання радыяльнага прыросту дрэў вольхі чорнай (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), якія растуць ва высокаўзроставаых чорнаальховых лясах у розных глебавых умовах, намі былі праведзены даследаванні на двух існуючых пастаянных пробных плошчах, размешчаных у Навасёлкаўскім лясніцтве Белавежскай пушчы (табл. 1).

**Табліца 1 – Кароткая характарыстыка аб'ектаў даследавання**

| Назва<br>ППП | Квартал /<br>выдзел | Тып лесу,<br>асацыяцыя               | Максімальная<br>колькасць<br>памераных<br>гадавых<br>кольцаў | Састаў<br>I яруса             | Паходжанне<br>дрэвастоя                                            | Сярэдняя<br>глыбіня<br>торфу, м |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ППП2         | 169 / 11            | Влч. кр.,<br>ляшчынава-<br>крапіўная | 126                                                          | 9Влч1Е                        | Дрэвастой<br>натуральнага<br>паходжання на<br>тарфяной глебе       | 0,6                             |
| ППП10        | 181 / 5             | Влч. сн.,<br>ліпнякова-<br>сніткая   | 121                                                          | 4Влч3Лп2Е1Кл+Д,<br>Я, адз. Ас | Дрэвастой<br>натуральнага<br>паходжання на<br>мінеральнай<br>глебе | —                               |

Чорнаалешнік крапіўны (ППП2) расце на торфе глыбінёй да 0,6 м, у верхнім полазе якога дамінуе *Alnus glutinosa* і сустракаецца *Picea abies*. Але па таксацыйных звестках за 1982 г. у першым ярусе гэтага фітацэноза пераважалі дрэвы *Fraxinus excelsior*. Падпрост фарміруюць *Picea abies* і *Fraxinus excelsior*, падлесак – *Corylus avellana*, *Viburnum opulus*, *Ribes spicatum*. Асноўны фон у жывым наглебавым покрыве ствараюць *Urtica dioica*, *Impatiens noli-tangere*, *Carex remota*.

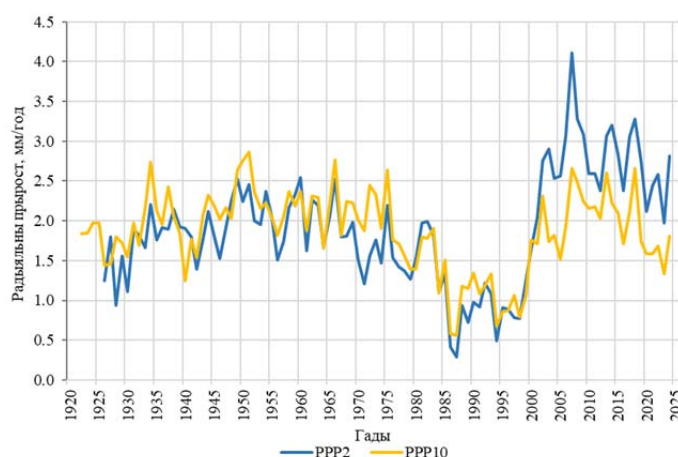
Чорнаалешнік сніткавы (ППП10) сфарміраваўся на мінеральнай глебе на месцы былога ясенніка, пра што сведчыць вялікая колькасць буйной мёртвай драўніны *Fraxinus excelsior* у [1]. У першым ярусе дрэвастоя дамінуюць *Alnus glutinosa*, *Tilia cordata*, *Picea abies*. Падпрост

фарміруюць *Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Tilia cordata*, падлесак – *Padus avium*, *Corylus avellana*, *Sorbus aucuparia*. У жывым наглебавым покрыве пераважна сустракаюцца *Oxalis acetosella*, *Lamium galeobdolon*, *Maianthemum bifolium*, *Hepatica nobilis*.

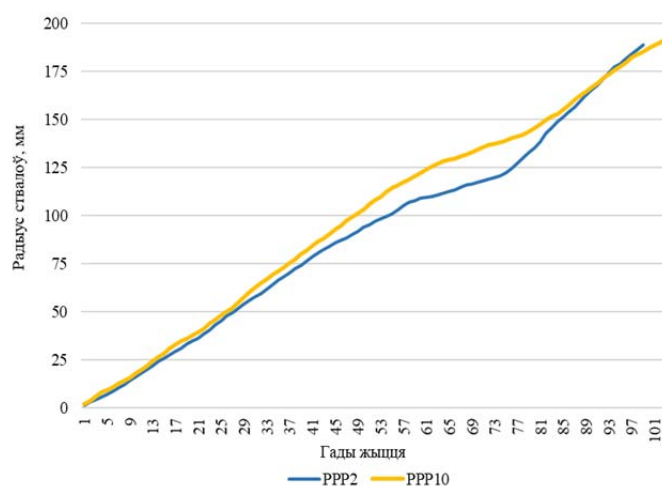
Для абодвух даследаваных фітацэнозаў з серый гадавых кольцаў найбольш старых дрэў *Alnus glutinosa* былі пабудаваны дрэвава-кольцавыя храналогіі (ДКХ), якія адрозніваюцца высокімі каэфіцыентамі адчувальнасці, што сведчыць пра добрую рэакцыю дрэў на змены фактараў навакольнага асяроддзя (табл. 2, рыс. 1). Кумуляты радыяльнага прыросту дрэў паказалі больш хуткі рост дрэў па дыяметры ў чорнаальховых дрэвастоях на мінеральнай глебе (рыс. 2).

Табліца 2 – Характарыстыка дрэвава-кольцавых храналогій

| Назва ДКХ  | Колькасць дрэў у ДКХ, шт. | Дыяпазон храналогіі, гады | Працягласць ДКХ, год | Сярэдняя шырыня гадавога кальца, мм | Каэфіцыент адчувальнасці | Стандартнае адхіленне |
|------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| NPBP_PPP2  | 18                        | 1926–2024                 | 99                   | $1,85 \pm 0,65$                     | 0,20                     | 0,22                  |
| NPBP_PPP10 | 18                        | 1922–2024                 | 103                  | $1,81 \pm 0,49$                     | 0,18                     | 0,18                  |



Рыс. 1 – Абсолютныя дрэвава-кольцавыя храналогіі вольхі чорнай



Рыс. 2 – Кумуляты радыяльнага прыросту дрэў вольхі чорнай

У перыяд з другой паловы 1920-х да пачатку 1980-х гг. дрэвы *Alnus glutinosa* у абодвух дрэвастоях развіваліся раўнамерна, але ў 1984 г. адбыўся сінхронны спад у прыросце, які працягваўся да 2000 г., пасля якога шырыня гадавых кольцаў рэзка павялічылася, што асабліва выражана ў чорнаальховым дрэвастоі на тарфянай глебе (рыс. 1). Такія змены ў

першую чаргу звязаны з трансфармацыяй вертыкальнай структуры даследаваных фітацэнозаў. У канцы 1990-х і пачатку 2000-х гг. дрэвы *Fraxinus excelsior*, якія дамінавалі ў верхнім полазе абодвух дрэвастояў, выпалі на працягу некалькіх гадоў. Гэта дало магчымасць дрэвам *Alnus glutinosa*, якія раслі пад полагам ясеннікаў, выйсці ў першы ярус і сфарміраваць новыя чорнаальховыя фітацэнозы.

#### **Спіс літаратуры**

1. Лукин, В. В. Структура и динамика высоковозрастного черноольхового насаждения в отсутствии антропогенного воздействия / В. В. Лукин, Л. И. Старикова, В. В. Мощный [и др.] // Лесное хозяйство : материалы 89-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3–18 февраля 2025 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за издание И. В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2025. – 658 с. – С. 298–301.
2. Цвирко, Р. В. Синтаксономическое разнообразие лесной растительности национального парка «Беловежская пуща» (Беларусь) / Р. В. Цвирко, Д. Г. Груммо // Разнообразие растительного мира, 2020. – №1 (4) – С. 57–80.
3. Юркевич, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах / И. Д. Юркевич // Минск : Наука и техника, 1980. – 120 с.
4. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии: ее картографирование, охрана и использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адериho // Минск : Наука и техника, 1979. – 248 с.
5. Юркевич, И. Д. Растительный покров Белоруссии (с картой масштаба 1:1 000 000) / И. Д. Юркевич // Минск : Наука и техника, 1969. – 176 с.

## СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ НАНОПЛАСТИКА И РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ОРГАНИЗМЫ ФИТОПЛАНКТОНА

Лазарева А. М., Ипатова В. И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская  
Федерация

e-mail: lazarevaam@my.msu.ru, viipatova@hotmail.com

Изучены разные типы взаимодействия между наночастицами полистирола (НП), токсикантами разной природы (метиленовый синий,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{NaF}$ ) и культурами пресноводных микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и *Chlorella vulgaris* Beijer. Показан синергетический, аддитивный и антагонистический эффекты комбинаций НП с другими токсикантами на микроводоросли в зависимости от срока наблюдения, типа и концентрации токсиканта. В большинстве случаев отмечен антагонизм взаимодействия данных токсикантов с НП.

В настоящем исследовании были изучены разные типы взаимодействия между наночастицами полистирола, выбранного из наиболее распространенных типов пластика, токсикантами разной природы и пресноводными микроводорослями. В качестве модельных тест-организмов использовали альгологически чистые культуры *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и термофильный штамм *Chlorella vulgaris* Beijer.

Для приготовления суспензии наночастиц полистирола использовали образец первичного полистирола (EPS) с размером частиц 100 нм, поставляемый Sigma Aldrich, Germany в виде 10 % водной суспензии с содержанием наночастиц  $1,05 \text{ г/см}^3$ .

При изучении влияния НП и второго токсиканта как в отдельности, так и в различных бинарных комбинациях (комбинированный эффект) на культурах фитопланктона, были взяты концентрации НП с содержанием 10 и 50 мг/л наночастиц, не вызывающие угнетения роста испытанных тест-организмов, и заведомо токсичные концентрации второго токсиканта, выбранные по результатам предварительных опытов:

0,1 и 0,5 мг/л для метиленового синего (МС);  
0,0025; 0,0125; 0,025 и 0,075 мг  $\text{Cu}$ /л для  $\text{CuSO}_4$ ;  
250 и 1500 мг  $\text{F}$ /л для  $\text{NaF}$ ,  
0,001; 0,01; 0,1; 1; 5 и 10 мг для  $\text{Cr}$ /л  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

Для учета возможных взаимодействий между изучаемыми токсикантами опыты проведены по плану полнофакторного эксперимента  $2^2$  (ПФЭ  $2^2$ ) – два фактора (2 токсиканта, один из которых НП) на двух уровнях (2 концентрации, исключение – опыты на культуре *S. quadricauda*, где диапазон концентраций был шире).

С культурой *S. quadricauda* проведены два хронических эксперимента длительностью 14 сут в климатостате на среде Успенского №1 при температуре  $24^\circ\text{C}$  согласно методике биотестирования по изменению численности клеток данного вида [1]. Опыты проводили в конических колбах, в которые добавляли 50 мл среды, в трёх-четырёх повторностях для каждой концентрации НП и второго токсиканта (МС в первом опыте и  $\text{Cu}$  – во втором) или их комбинаций в смеси и контроля.

С культурой *C. vulgaris* были поставлены краткосрочные эксперименты длительностью 2 сут в многокуветном культиваторе KBM–05 на 2 % среде Тамия при температуре  $36^\circ\text{C}$ , постоянном освещении и перемешивании согласно методике биотестирования по изменению оптической плотности клеток этого вида [2]. Опыты проводили в пенициллиновых пузырьках ёмкостью 10 мл, в трёх повторностях для каждой концентрации НП и второго токсиканта (в различных опытах добавляли соли хрома, меди, фтора и метиленовый синий) или их комбинаций с нанопластиком и контроля.

В работе использованы разные подходы для количественной оценки токсичности НП и других токсикантов при их совместном присутствии в среде культивирования водорослей, каждый из которых позволяет оценить в процессе роста культур или тенденцию изменения

токсичности среды, или степень взаимодействия этих добавок в парных комбинациях их различных концентраций. Показателями состояния тест-организмов были изменение численности (N) или оптической плотности культуры (OD) и величины эффективности фотосинтеза (QY) [3].

Дополнительно нами было оценено комбинированное и раздельное воздействие изучаемых добавок на рост культуры по следующему расчетному показателю - отношению численности клеток в контроле к численности при одной из добавок и их комбинаций. Такая оценка воздействия показывает, во сколько раз по сравнению с контролем изменилась численность при внесении определенной комбинации токсикантов. Если оценка совместного воздействия НП и второго токсиканта равна произведению оценок при воздействии их порознь, такое комбинированное действие можно считать аддитивным.

Статистическую обработку всех экспериментов проводили в программе Microsoft Office Excel 2019 по критерию Даннета.

Получили следующие результаты:

1) Показан синергетический, аддитивный и антагонистический эффекты парных комбинаций наночастиц полистирола с другими исследованными токсикантами на культуры *S. quadricauda* и *C. vulgaris* в зависимости от типа токсиканта, их концентраций и срока действия.

2) Для обеих культур по параметру численности клеток антагонизм отмечен в большинстве случаев из всех комбинаций НП с другими токсикантами на все сроки наблюдения, при этом токсиканты при их комбинации с 50 мг/л НП в культуральной среде *S. quadricauda* по сравнению с *C. vulgaris* чаще взаимодействовали по типу синергизма. Однако по показателю эффективности фотосинтеза клеток в процессе роста *S. quadricauda* обнаружены продолжительные эффекты усиления токсического действия среды при совместном присутствии в ней высоких концентраций 0,5 мг/л метиленового синего и 50 мг/л наночастиц полистирола и их взаимодействие по типу синергизма, в то же время бинарные комбинации их низких концентраций 0,1 мг/л МС и 10 мг/л НП приводят к усилению токсичности среды со временем.

3) Обнаруженные в настоящей работе случаи усиления токсического действия среды при совместном присутствии в ней НП, и других токсикантов (МС, хрома, меди и фтора) и их взаимодействие по типу синергизма можно объяснить разной природой этих добавок, их концентрацией и особенностями их действия на растительную клетку.

Можно сделать вывод о том, что механизм интерактивного антагонистического действия токсикантов разной природы изучен недостаточно. Причин проявления антагонизма много и эта тема представляет самостоятельный интерес для исследования.

В нашем случае антагонистическое действие частиц разной природы можно объяснить их физико-химическими свойствами и, в частности, адгезией наночастиц полистирола и кристаллов метиленовой сини вследствие их налипания при контакте, что, возможно, и приводило к снижению токсичности наиболее токсичного компонента.

Присутствие наночастиц полистирола в ряде случаев вызывает протекторный эффект от токсического действия высоких концентраций метиленовой сини, хрома, меди и фтора в краткосрочных экспериментах для *C. vulgaris*, что может быть связано с адсорбцией изученных токсикантов на частицах нанопластика, которая приводит к уменьшению концентрации токсикантов в среде и снижению их токсического действия.

По данным литературы [4] известно, что частицы пластика могут эффективно и быстро адсорбировать различные загрязняющие вещества, что приводит к увеличению их концентрации на поверхности пластика и может стать новой потенциальной угрозой для водных мелких организмов и экологического равновесия.

Когда частицы пластика встречаются с микроводорослями, могут формироваться агрегаты и влиять на токсичность окружающей среды. При этом на агрегацию влияли

физические, химические и биологические факторы. Агрегаты усиливали адсорбцию Cu (II) по сравнению с чистым МП [5].

Следовательно, возможная адсорбция токсиканта на частицах пластика и агрегация клеток и пластиковых частиц также должны быть взяты в расчет при объяснении токсического воздействия смеси частиц пластика и загрязняющего вещества на микроводоросли.

Следует отметить, что настоящее исследование – это лабораторное исследование, а окружающая среда представляет собой сложную систему, содержащую множество сосуществующих веществ, которые могут влиять на токсичность смеси НП и металлов на водные организмы. Токсичность смеси может зависеть и меняться в процессе роста водорослей не только от исходных концентраций веществ, нано- или микрочастиц в культуральной среде, но и от заряда этих частиц, заряда поверхности растительной клетки, состава и количества выделяемых экзометаболических веществ, pH и ряда других причин.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (тема № 121032300131–9) при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М. В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

#### Список литературы

1. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. – Москва: Акварос, 2007. – 47 с.
2. ПНД Ф Т 14.1:2:4.10-2004. Т 16.1:2.3:3.7-2004. Токсикологические методы анализа. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов производства и потребления по изменению оптической плотности культуры водоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) (утв. ФБУ "ФЦАО" 10.04.2012).
3. Strasser, R. J. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient / R. J. Strasser, M. Tsimilli-Michael, A. Srivasta // Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration. Eds. G. Papageorgiou and Govindjee. Dordrecht: Springer. – 2004. – Vol. 19. – P. 321–362.
4. Dual drive acute lethal toxicity of methylene blue to *Daphnia magna* by polystyrene microplastics and light / X. Xiang, J. Zhou, S. Lin [et al.] // Sci. Total Environ. – 2022. – Vol. 840. – 156681. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156681.
5. When microplastics meet microalgae: Unveiling the dynamic formation of aggregates and their impact on toxicity and environmental health / Y. Su, L. Gao, E. G. Xu // Water Research. – 2025. – Vol. 273. 123008

## ЭКСПАНСИЯ ОСОБО ОПАСНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СОЖ В БЕЛАРУСИ: ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ, ДИНАМИКА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Лапицкий В. М.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: vl.saintpauli@gmail.com

В статье приведены сведения о распространении особо опасных травянистых инвазивных видов растений в бассейне р. Сож в границах Республики Беларусь. Представлены данные о количестве мест произрастания и занимаемой растениями площади, рассмотрены риски дальнейшей экспансии инвайдеров с учетом роста их численности, а также освещены проблемы, связанные с организацией системы мониторинга.

Инвазивные виды растений – одна из основных угроз биоразнообразию во всем мире. Не является исключением и территория бассейна р. Сож, представляющая единый природно-территориальный комплекс и занимающая в пределах Беларуси 21,5 тыс. км<sup>2</sup> (10,35 %) территории. Наибольшую угрозу представляет список видов, способных быстро внедряться в экосистемы и формировать монодоминантные сообщества. Эти виды, преимущественно, травянистые, и, согласно [1], отнесены к группе особо опасных. В бассейне р. Сож отмечены места произрастания четырех таких травянистых видов: амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), борщевик сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) и эхиноцистис лопастный (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray) (рисунок 1). Эти виды в законодательном порядке подлежат регулированию численности [2], а *A. artemisiifolia* также является карантинным видом [3].

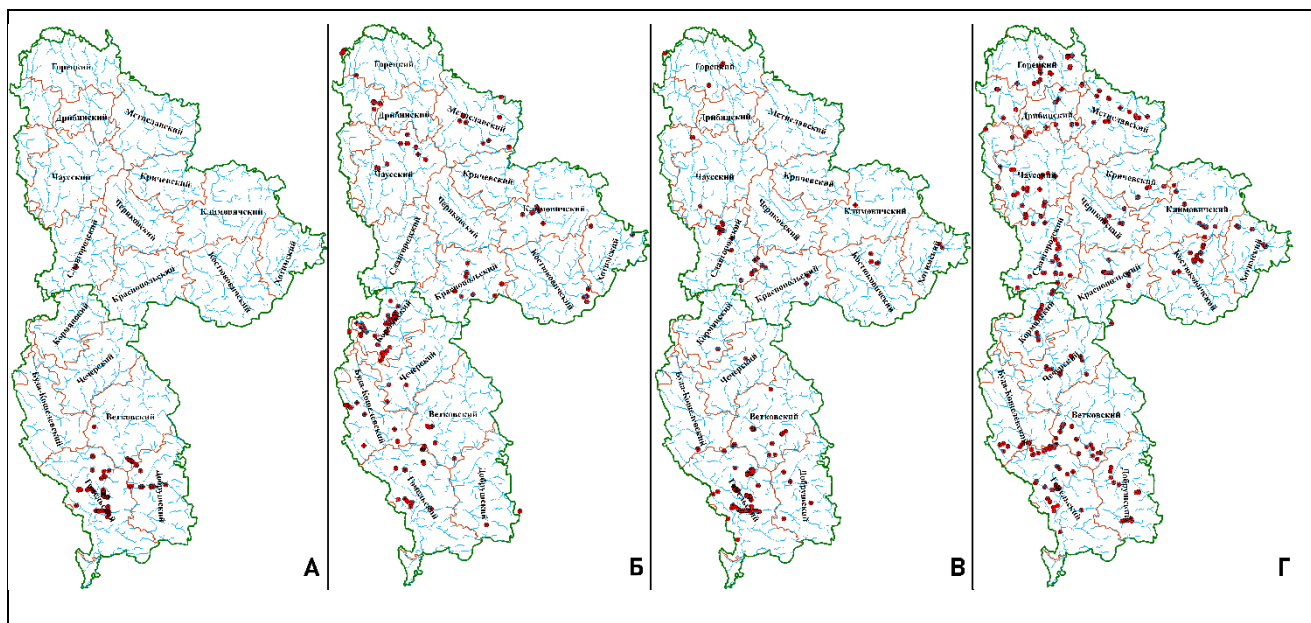


Рисунок 1 – Распространение особо опасных травянистых инвазивных растений (ООТИР) в бассейне р. Сож: А – *A. artemisiifolia*; Б – *H. sosnowskyi*; В – *S. canadensis*; Г – *E. lobata*

Обследования мест произрастания ООТИР проводились в рамках наполнения базы данных Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь маршрутным методом на всей территории Беларуси с 2006 г. (автор принимает участие в ведении с 2023 г.). За прошедший период было обнаружено 10,4 тыс. мест произрастания видов, упоминаемых в работе, на площади 5 тыс. га. В бассейне р. Сож отмечено 762 места произрастания на

площади 201 га (таблица 1; 7,32 % и 4,02 % от таковых показателей по стране соответственно).

Таблица 1 – Сведения о распространении ООТИР на территории Беларуси и в границах бассейна р. Сож

| Вид                      | Количество мест произрастания, шт. |                | Занимаемая площадь, га |                | Доля ООТИР в пределах бассейна р. Сож, % (мест./площадь) |
|--------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------|----------------|----------------------------------------------------------|
|                          | РБ                                 | Бассейн р. Сож | РБ                     | Бассейн р. Сож |                                                          |
| <i>A. artemisiifolia</i> | 177                                | 91             | 21,1083                | 16,5503        | 51,41 / 78,40                                            |
| <i>H. sosnowskyi</i>     | 5912                               | 178            | 4123,0095              | 42,4639        | 3,01 / 1,03                                              |
| <i>S. canadensis</i>     | 2754                               | 216            | 692,7678               | 125,2381       | 7,84 / 18,08                                             |
| <i>E. lobata</i>         | 1571                               | 277            | 145,1070               | 16,8228        | 17,63 / 11,59                                            |
| <b>Всего</b>             | 10414                              | 762            | 4981,9926              | 201,0751       | 7,32 / 4,04                                              |

Крупнейший в республике очаг экспансии *A. artemisiifolia* возник в начале 2010-х гг., когда вид начал стремительно распространяться с территории России, где амброзия широко распространена, по шоссе М10 (на участке от д. Селище до г. Речица), Р124 (г. Добруш – д. Рудня Споницкая) и Р150 (г. Гомель). Данная территория имеет высокий риск дальнейшего распространения вида за счет нескольких факторов: потепления климата на юго-востоке страны, расположения крупных популяций вблизи крупных водотоков, высокой распаханностью территории, произрастанием вблизи автомобильных дорог регионального и республиканского значения. Первый масштабный опыт по уничтожению амброзии, основанный на методике борьбы с инвазивными видами растений [4], оказался неприменим к инвайдеру и принес обратный эффект. В этой связи должны рассматриваться новые варианты по повышению эффективности работ, а существующие меры подлежат доработке.

*H. sosnowskyi* наиболее широко представлен на территории Кормянского и Гомельского районов (16,76 и 11,12 га соответственно), главным образом, вблизи сельскохозяйственных угодий. В настоящий момент активно ведутся работы по уничтожению вида на территории всей страны, а ситуация в бассейне р. Сож требует повторной оценки.

Стремительная экспансия *S. canadensis* в речном бассейне наблюдается с 2019 г., главным образом, в окрестностях г. Гомеля (в настоящее время обнаружено уже 150 мест произрастания на площади 124 га). В качестве инвазионных коридоров выступают магистрали международного и регионального значения, а также расположенные в непосредственной близости от них заброшенные пашни. Вероятно, в качестве таковых также выступают и железнодорожные пути, однако в кадастре отсутствуют сведения о наличии местонахождений в таких местах. За счет низкой эффективности кадастровых обследований предыдущих лет (что связано с небольшим количеством задействованных в работе лиц) высока вероятность, что реальные занимаемые золотарником канадским площади выше известных на 1–2 порядка.

Эхиноцистис лопастной обнаруживается равномерно по всей территории речного бассейна, однако обнаруживается, преимущественно, вдоль главного водотока – р. Сож. Ожидается, что вид продолжит быстро распространяться на данной территории.

Для отслеживания характера экспансии ООТИР на территории Беларуси организована сеть из 136 пунктов мониторинга (рисунок 2; 1,5 тыс. км<sup>2</sup>/пункт). Наблюдения проводятся за 20 видами растений. Следует отметить, что в пределах бассейна р. Сож имеются три пункта (2,2 % от их количества на 10,35 % территории страны), и только один соответствует тематике исследования (пункт мониторинга *A. artemisiifolia* на юге г. Гомеля). Следует отметить и неравномерность их распределения по территории республики (основные центры концентрации – г. Минск, национальные парки «Припятский», «Нарочанский» и «Браславские озера»). Полагаем, что оценку скорости экспансии необходимо проводить не только в пределах слабонарушенных территорий, но и в зонах высокой антропогенной нагрузки.

На основе многолетних наблюдений выявлено, что среднегодовая скорость экспансии ООТИР на территории Беларуси составляет: для *A. artemisiifolia* – 19,5 % / год; *H. sosnowskyi* – 20–25 % / год; *S. canadensis* – 30–35 % / год; *E. lobata* – 18–22 % / год. Для проведения прогнозирования показателя занимаемой площади предлагаем использовать формулу:

$$S_n = \sum_{i=1}^x \left( \frac{(p_i \times Q_j) \times (K_{\text{Э}})^{n-m}}{K_{\text{Пос}} \right),$$

где  $S_n$  – прогнозируемая площадь популяции или местонахождения в  $n$ -ом году;

$p_i$  – площадь  $i$ -й популяции или местонахождения, га или  $\text{м}^2$ ;

$Q_j$  – ограничивающий коэффициент (при количестве  $i$  не менее четырех), зависящий от того, в каком  $j$ -ом квантиле находится показатель площади прогнозируемого вида в общем рейтинге по определенной территории. Для первого квантиля равен 0,5; для второго – 0,8; для третьего – 0,95; для четвертого – 1;

$(K_{\text{Э}})^{n-m}$  – коэффициент экспансии, индивидуальный для каждого вида на период с  $n$ -ого по  $m$ -ый годы. Для *A. artemisiifolia* он равен 1,195; *H. sosnowskyi* – 1,25; *S. canadensis* – 1,35; *E. lobata* – 1,2;

$K_{\text{Пос}}$  – коэффициент пригодности окружающей среды для экспансии. Предлагаем использовать четыре градации по условиям благоприятности: наиболее благоприятные – 0,9; средней благоприятности – 1,1; благоприятность ниже средней – 1,3; неблагоприятная – 1,7. Определяется индивидуально для каждой популяции.

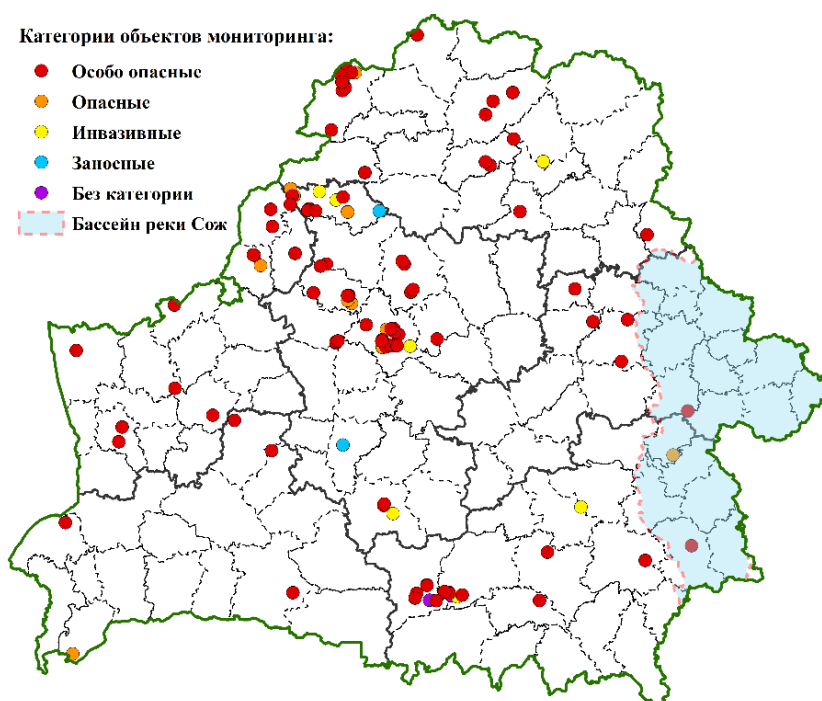


Рисунок 2 – Расположение пунктов мониторинга инвазивных растений на территории Беларуси

Согласно негативному сценарию (если не принимать мер по борьбе), рассчитанному по предложенной формуле, к 2032 г. Ожидается изменение занимаемых площадей до следующих значений: *A. Artemisiifolia* – 52,29 га; *H. Sosnowskyi* – 201,92 га; *S. Canadensis* – 646,01 га; *E. Lobata* – 50,06 га.

Имеющиеся данные о распространении ООТИР в бассейне р. Сож требуют повторной оценки, необходимы заложение новых пунктов мониторинга и проверка расчетов экспансии.

### Список литературы

1. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский [и др.] ; науч. Ред. А. В. Пугачевский. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 599 с.
2. О некоторых вопросах регулирования распространения и численности видов растений [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 7 декабря 2016 г., № 1002 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21601002> (дата обращения: 02.07.2025).
3. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь от 21 апреля 2009 г. № 509 и от 7 декабря 2016 г. № 1002 [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 19 июля 2021 г., № 413 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: [https://pravo.by/document/? Guid=12551&p0=C22100413](https://pravo.by/document/?Guid=12551&p0=C22100413) (дата обращения: 03.07.2025).
4. ТКП 17.05-03-2020. Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир. Требования к проведению работ по ограничению распространения и численности инвазивных растений (борщевика Сосновского, золотарника канадского, эхиноцистиса лопастного и других инвазивных растений) различными методами. – Введ. 01.10.2020. – Минск, 2020. – 18 с.

**ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА)**

Леготин М. Е., Чечельницкая В. А.

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
e-mail: chechelnitskayavera2004@gmail.com, legotin-2003@mail.ru

В данной статье представлена пояснительная записка к карте растительности в масштабе 1:1000. На северо-западном побережье озера Иссык-Куль, в районе посёлка Тору-Айгыр (Кыргызская Республика) была описана как естественная, так и антропогенно-нарушенная растительность. В болотно-сазовом типе выделены растительные сообщества и их комплексы ввиду мозаичности растительности кочек, топей и грядopodobных структур. Выявлены закономерности пространственного размещения растительных сообществ.

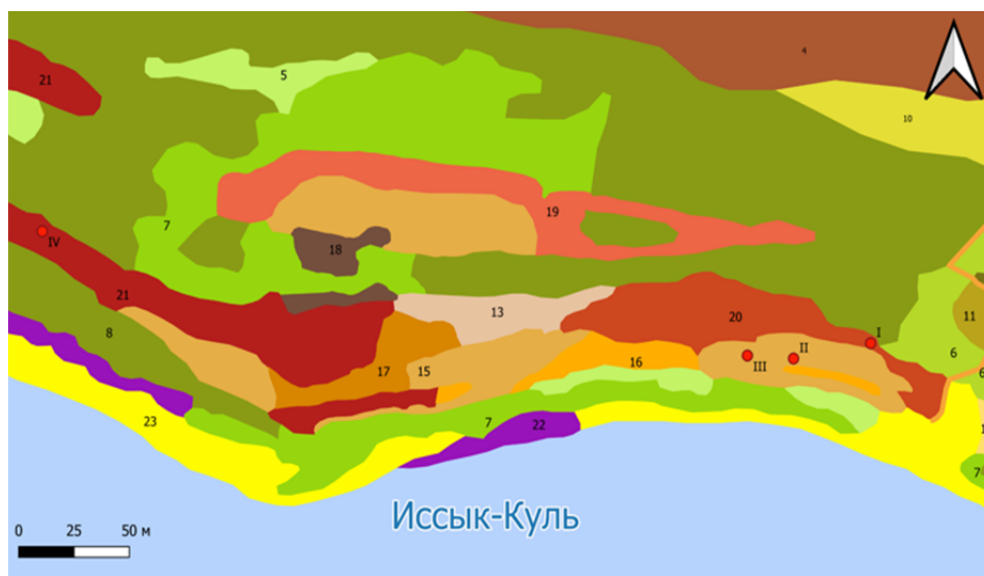
С 29 июня по 12 июля 2025 года в рамках научно-исследовательской экспедиции Русского географического общества по основным маршрутам П. П. Семёнова-Тян-Шанского «К 200-летию со Дня Рождения» на северо-западном побережье Иссык-Куля авторами были проведены флористические и геоботанические исследования. Одной из задач геоботанических исследований было создание крупномасштабной карты растительности, фрагмент которой представлен (рисунок). Типы растительности определены по сопоставлению видового состава сообществ с описанными в литературе для данной территории [1].

Северо-восточную часть фрагмента карты занимают характерные для пустынной растительности данного региона эфедровые сообщества с доминированием *Ephedra intermedia*, в которых в меньшем количестве встречались *Clematis orientalis*, *Nitraria sibirica*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Neotrinia splendens*, единично – *Phragmites australis*, *Lepidium latifolium*, *Peganum harmala*, *Lactuca tatarica*. Бедный видовой состав и изреженность этих сообществ указывают на их нарушение вследствие перевыпаса скота, что подтверждается наличием густой сети троп шириной около 10 см [2].

Южнее и юго-западнее вдоль берега озера протягивается полоса кустарников, которая лучше всего представлена облепиховым тростниковым сообществом (*Hippophae rhamnoides*, *Phragmites australis*). Вблизи грунтовой дороги это сообщество сменялось облепиховым тростниково-тонконоговым (*Koeleria macrantha*). Фрагменты ивового тростникового сообщества были представлены небольшими группами крупных экземпляров *Salix acutifolia*, доминирующих в древесном ярусе. Все сообщества полосы кустарниковой растительности представляли собой густые труднопроходимые заросли: сомкнутость кустарникового яруса которых достигала 0,8. Из-за затенения в видовом составе была велика доля лиан: *Asparagus tamariscinus*, *Clematis orientalis* и *Rosa beggeriana*, которая становится содоминантом в розово-облепиховом тростниковом сообществе.

Между полос кустарников были описаны сообщества и комплексы сообществ болотно-сазовой растительности, сформировавшиеся вблизи выходов на поверхность высокоминерализованных грунтовых вод. Саз – термин, обозначающий болото или влажный, подпитываемый грунтовыми водами луг в горах и предгорьях Средней Азии [3]. Водно-болотные угодья располагались в 25 м от береговой линии озера, характеризовались дробными контурами растительных сообществ. Комплексность обусловлена формированием сообществ на разных участках нанорельефа: кочках, грядopodobных структурах или топях. При исследовании сообществ был отмечен элемент торфонакопления: мощность отложений илистого торфоподобного вещества достигала 45 см, степень разложения в верхней части залежи составляла 35–40 %, в нижней части  $\geq 60$  %.

В местах выхода грунтовых вод на поверхность, в топях и в береговой зоне озера Иссык-Куль были определены значения активной кислотности (pH) и удельной электропроводности.



- Пустынная растительность**
- 4. Эфедровое (*Ephedra intermedia*), сомкнутость - 50%
- Лесо-кустарниковая растительность**
- 5. Ивовое тростниковое (*Salix acutifolia*, *Phragmites australis*)
  - 6. Облепиховое тростниково-тонконогое (*Hippophae rhamnoides*, *Phragmites australis*, *Koeleria macrantha*)
  - 7. Розово-облепиховое тростниковое (*Rosa beggeriana*, *Hippophae rhamnoides*, *Phragmites australis*)
  - 8. Облепиховое тростниковое (*Hippophae rhamnoides*, *Phragmites australis*)
- Луговая растительность**
- 10. Лапчатково-полынное (*Potentilla orientalis*, *Artemisia dracunculus*)
- Болотно-сазовая растительность**
- Растительные сообщества**
- 13. Тростниково-поточниковое (*Phragmites australis*, *Blasmus compressus*)
  - 16. Тростниковое (*Phragmites australis*)
  - 17. Тростниково-хвощово-болотнищевое (*Phragmites australis*, *Equisetum ramosissimum*, *Eleocharis palustris*)
  - 18. Тростниково-осоковое (*Phragmites australis*, *Carex paniceae*)
  - 19. Тростниково-осоково-болотнищевое (*Phragmites australis*, *Carex paniceae*, *Eleocharis palustris*)
- Комплексы растительных сообществ**
- 15. Комплекс грядкоподобных структур с доминированием *Phragmites australis* и *Schoenoplectus lacustris* и топей с доминированием *Chara vulgaris* и *Utricularia vulgaris*
  - 20. Комплекс кочек с доминированием *Phragmites australis*, *Juncus articulatus*, *Eleocharis palustris* и топей с доминированием *Chara vulgaris*
  - 21. Комплекс кочек с доминированием *Phragmites australis* и *Equisetum ramosissimum* и топей с доминированием *Chara vulgaris* и *Utricularia vulgaris*
- Прибрежно-водная растительность**
- 22. Щавелево-тростниковое (*Rumex acetosa*, *Phragmites australis*)
- Дополнительные обозначения**
- 23. Песчаный пляж
  - Грунтовая дорога
  - Выходы грунтовых вод

Рисунок 1 – Фрагмент карты растительности северо-западного побережья озера Иссык-Куль в масштабе 1:1000

(ЕС, мкСм/см) с помощью мобильного рН/ЕС-метра EZ-9902. Результаты измерений представлены в таблице. По результатам измерений можно сделать вывод о фильтрационной функции берегового вала, покрытого зарослями *Hippophae rhamnoides* - удельная электропроводность воды в протоке из водно-болотного угодья в озеро Иссык-Куль составила 229 мкСм/см, а её значения в топиях и ключах лежали в диапазоне 400–660 мкСм/см.

Таблица 1 – Активная кислотность и удельная электропроводность воды в системе водно-болотное угодье – озеро

| Место отбора проб                                                                                                                                                                           | pH   | ЕС, мкСм/см |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|
| Тростниково-поточниковое сообщество                                                                                                                                                         | 7,36 | 532         |
| Тростниково-хвощово-болотническое сообщество                                                                                                                                                | 7,36 | 402         |
| Тростниково-осоково-болотническое сообщество                                                                                                                                                | 7,99 | 434         |
| IV ключ                                                                                                                                                                                     | 8,00 | 436         |
| Комплекс кочек с доминированием <i>Phragmites australis</i> , <i>Juncus articulatus</i> , <i>Eleocharis palustris</i> и топей с доминированием <i>Chara vulgaris</i>                        | 7,59 | 546         |
| Протоки из водно-болотного угодья в оз. Иссык-Куль                                                                                                                                          | 7,29 | 229         |
| III ключ                                                                                                                                                                                    | 7,02 | 662         |
| Комплекс грядоподобных структур с доминированием <i>Phragmites australis</i> и <i>Schoenoplectus lacustris</i> и топей с доминированием <i>Chara vulgaris</i> и <i>Utricularia vulgaris</i> | 6,93 | 311         |
| I ключ                                                                                                                                                                                      | 7,80 | 420         |

Вдоль берега озера Иссык-Куль по песчаным пляжам тянется узкая фрагментированная полоса прибрежно-водной растительности, представленная щавелево-тростниковым сообществом (*Rumex acetosa*, *Phragmites australis*). Вода в эти сообщества поступает из ключей через протоки в полосе зарослей.

Анализируя крупномасштабную карту растительности, можно выявить нарастание мозаичности растительного покрова с продвижением к берегу озера Иссык-Куль. Это может быть связано с уменьшением глубины залегания грунтовых вод с продвижением к озеру - градиентом увлажнения, по которому растительные сообщества выстраиваются от пустынных до прибрежно-водных. Выходы высокоминерализованных грунтовых вод на поверхность (ключи) также способствуют увеличению мозаичности растительного покрова.

Стоит отметить, что преимущественно растительные сообщества простираются вдоль береговой линии озера, формируя полосы растительности. Такая конфигурация растительных контуров связана не только с градиентом увлажнения, но и с местоположением береговой линии озера Иссык-Куль в разные годы. Крупномасштабная карта растительности охватывает территорию, полностью покрытую в прошлом водами озера, что находит отражение в составе озёрных отложений, формах микрорельефа (береговые валы) и характере растительного покрова.

Данная работа была выполнена при поддержке Русского географического общества. Авторы выражают благодарность научному руководителю экспедиции А. А. Стрельникову, Р. В. Моськину, сотрудникам Санкт-Петербургского государственного университета О. В. Галаниной, Е. С. Деркач, Н. В. Терехиной за консультации на всех этапах работы.

#### Список литературы

1. Касиев, К. С. Типы, формации и группы ассоциаций растительного покрова биосферной территории Иссык-Куль и их антропогенные изменения. – Бишкек ; Олимп 2004. – 311с.
2. Касиев, К. С. Эфедровые пустыни “Биосферной территории Иссык-Куль” и их изменения под влиянием антропогенных факторов / К. С. Касиев, С. А. Урмамбетова // Исследования живой природы Кыргызстана / НАН Кырг.Респ., Биол.-почв.ин-т. – 2002. – Вып.4. – С.291–296.
3. Овчинников, П. Н. О некоторых направлениях в классификации растительности Средней Азии / П. Н. Овчинников // Изв. АН ТаджССР. Отд. естеств.наук. – 1957. – Вып. 18. – С. 49–65.

## ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ ЛИСТВЕННИЦЫ

Мартыненко А. А., Фетисов Д. С., Мельник П. Г.

Мытищинский филиал ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, Российская Федерация  
e-mail: Nastya19972010@mail.ru

*В статье впервые представлено детальное словесное и фотографическое описание фенологического развития лиственницы. Изучение фенологических фаз происходило на территории Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана (центр Московской области). Объектом исследования являлись 24 дерева лиственницы европейской и 12 деревьев лиственницы Сукачёва. Данная работа может послужить основой для изучения сезонного развития лиственницы в естественном ареале и в условиях интродукции по единой методике.*

Целью нашего исследования является изучение фенологических особенностей лиственницы в условиях Московской области. Предмет исследования – возмужалые деревья лиственницы европейской и Сукачёва. Перед началом работы были проанализированы три известные методики ведения фенологических наблюдений: над растениями в целом, над хвойными растениями и над лиственницей в частности. В итоге для исследования нами были выбраны следующие фенофазы: набухание вегетативных и генеративных почек, обособление хвои весной, рост побегов в течение всего вегетационного периода, пожелтение и опадение хвои осенью [1].

Как писал И. Н. Елагин, среди объектов фенологических наблюдений хвойные растения обычно отсутствовали по причине незнания наблюдателями признаков наступления фенологических фаз у этой группы растений [2]. По итогам проведённых нами фенологических наблюдений впервые были детально зафиксированы все стадии наступления основных фенологических фаз лиственницы. Были составлены фотографические рисунки, которые в дальнейшем могут использовать учёные и любители-натуралисты для проведения собственных фенологических исследований над лиственницей в условиях интродукции и в естественном ареале.

«Начало облиствения у сосны – когда молодые иглы начали отделяться от стебелька молодого побега, а у ели и лиственницы – друг от друга своими верхними частями» – так описывает признаки наступления фенофазы Н. П. Сахаров [3]. Постараемся в подобном виде описать изученные нами весенние фенофазы лиственницы с приведением фотопримеров.

1. Набухание вегетативных почек (рис. 1). Начинается с пробуждения нежной светлой почки внутри старого бугорка и заканчивается раскрытием почечных чешуек.



Рисунок 1 – Фаза набухания вегетативных почек лиственницы

2. Распускание вегетативных почек (рис. 2). Начинается с проклёвывания первых хвоинок и заканчивается их удлинением и выходом из почечных чешуй.

3. Обособление хвои (рис. 3). Начинается с отделения друг от друга молодых хвоинок в верхней части и заканчивается их удлинением и полным разделением до места прикрепления в пучке.



Рисунок 2 – Фаза распускания вегетативных почек лиственницы



Рисунок 3 – Фаза обособления хвои лиственницы

4. Набухание генеративных почек (созревание пыльцы) (рис. 4). С самого начала генеративные почки отличаются от вегетативных более крупным размером – они выглядят как крупные шершавые шарики. Цвет «мужской шишки» может быть разным (зелёным, жёлтым, красным) – на протяжении созревания шишки он не меняется (на фото показаны разные шишки в разных стадиях созревания, поэтому их цвет отличается).



Рисунок 4 – Фаза набухания «мужских» почек лиственницы

5. Набухание генеративных почек (созревание шишек) (рис. 5). «Женские шишки» также могут быть разного цвета (нам встречались нежные бело-зелёные, бело-жёлтые, бело-розовые и ярко пурпурные). Из крупного чешуйчатого шарика в начале фазы появляются «хвоинки» не зелёного цвета, затем они раскрывают лепестки и таким образом готовятся принять к себе летящую пыльцу.



Рисунок 5 – Фаза созревания «женских» почек лиственницы

6. Пыление (рис. 6). Летящую пыльцу невооружённым взглядом видно на ветру. В безветренную погоду можно легонько постучать по набухшей «мужской» шишечке: если пыльца полетит, значит, фаза пыления наступила. Фаза завершается, когда «мужские» шишки увядают и перестают сыпать пыльцу, а «женские» – закрывают кроющие чешуйки, запечатывая пыльцу внутри.



Рисунок 6 – Фаза пыления лиственницы

На этом наступление всех весенних фенофаз завершается. После оплодотворения закрывшаяся шишка, запечатывая будущие семена смолой, выглядит так (рис. 7).



Рисунок 7 – Оплодотворённая шишка лиственницы европейской

Таким образом, теперь для лиственницы европейской (и других видов лиственницы, так как внешне все её виды похожи [4]) существует подробное описание фенологического развития. Надеемся, что составленный нами фенологический обзор лиственницы европейской поможет другим исследователям активно изучать сезонное развитие хвойных и приведёт к интересным научным открытиям.

#### Список литературы

1. Мартыненко, А. А. Фенологические особенности различных видов лиственницы в условиях интродукции / А. А. Мартыненко, П. Г. Мельник // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (10-11 октября 2024 г., Хабаровск). – 2024. – С159–16464.
2. Елагин, И. Н. Сезонное развитие сосновых лесов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 227 с.
3. Сахаров, Н. П. Фенологические наблюдения – на службу лесному хозяйству. Харьков: Кн. изд-во, 1961. 46 с.
4. Дылис, Н. В. Лиственница. М.: Лесная пром-ть, 1981. 96 с.

## **ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ВЫРАБОТАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Маслюков Е. А., Лешков А. А.

ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: [office@cbg.org.by](mailto:office@cbg.org.by)

*Определены отдельные микробиологические и агрохимические показатели песчаного субстрата, обрабатываемого бактериальными препаратами: отмечено снижение обменной кислотности и содержания гумуса во всех опытных вариантах; в варианте опыта с обработкой препаратом «Бактопин» наблюдали повышение концентрации аммонийного азота, обработка препаратом «Агромик» повышала уровень содержания обменного калия. Наибольшая микробомасса по окончании вегетационного периода наблюдалась в варианте с «Бактопином», наивысший коэффициент метаболической активности – в варианте с «Гордебаком».*

Известно, что результатами деятельности человека по добыче полезных ископаемых зачастую являются уничтожение целых экосистем за счет ухудшения гидрологического режима и эдафических условий, повреждения почвенного и растительного покрова. В результате производственных работ на поверхности карьера остаются осадочные материнские породы. Несмотря на то, что некоторая доля нарушенных земель способна к самовосстановлению естественным путем, сукцессия, как правило, затруднена истонченным слоем гумуса. Одним из способов восстановления нарушенных земель является биологическая рекультивация [3]; задачей которой является восстановление состава почвы, близкого к естественному [4]. Это может достигаться посредством селективной укладки породы в отвал или внесения бактериальной композиции для стимулирования почвообразования. В ходе рекультивационных мероприятий восстанавливается кислотность почв, стабилизируется гранулометрический состав; рекомендуется заполнение территории саженцами разнорусных смешанных культур растений для наиболее полного использования занимаемой среды [6]. Опционально возможно внесение торфа или аммиачной селитры для ускорения укоренения и адаптации. Также во вносимых композициях могут присутствовать минеральные добавки, грибная микрофлора и мульчирующие материалы.

Цель работы состояла в исследовании эффективности бактериальных препаратов для восстановления почвообразовательного процесса в песчаном карьере.

Опыт проводили на территории песчано-гравийного карьера «Орковичи», располагающегося на территории Новогрудского района Гродненской области. Рабочая зона карьера составляет около 1.24 га. В качестве тест-объектов использовали растения сосны обыкновенной и березы повислой (7-летнего возраста), высаженные на пологом склоне и на дне карьера. Рекультивационные мероприятия заключались в поэтапной обработке субстрата под насаждениями бактериальными препаратами «Агромик», «Бактопин» и «Гордебак», произведенными в Институте микробиологии НАН Беларуси. Прикорневой полив 2%-ми растворами проводили 3 раза в течение вегетационного периода (первый – в конце апреля; второй – в конце мая и третий – в конце июня). Препараты многократно тестировались: эффекты внесения «Агромика» оценивали с применением ягодных [8], пряно-ароматических [9], технических [10] культур. «Бактопин» и «Гордебак» многократно тестировали как на декоративных древесных культурах [11], так и на традиционных лесных видах [12]. Установлено, что клубеньковые бактерии рода *Rhizobium* оказывают пролонгирующий эффект на субстрат, значительно повышая общее содержание азота и белка в сухом веществе растения. Фиксация азота происходит благодаря функциям *nif*-оперона, позволяющего в условиях низкого парциального давления кислорода вырабатывать основной фиксирующий фермент нитрогеназу. Солюбилизирующая способность штаммов *Pseudomonas*, вероятно, связана с синтезом экзополисахаридов и хелатирующих веществ, повышающих усваиваемость микроэлементов. Также для вида характерен синтез ИУК, гормонально

усиливающей ростовые процессы [5]. Штаммы *Rahnella* в составе препарата «Бактопин» демонстрировали значимое повышение содержание азотфиксирующей микробиоты в прикорневой зоне древесных и декоративных видов, а также усиливали индуцированный иммунитет по отношению к биотическим и абиотическим стрессам [1]. Род *Enterobacter* также обладает фосфатмобилизирующими, азотфиксирующими и противомикробными функциями за счет наличия *nif*-оперона и синтеза ИУК.

Отбор почвенных проб производили ручным буром из прикорневой среды растений. Количественную оценку микробомассы в почвенных субстратах проводили субстрат-индуцированным методом [7]. Для определения интенсивности дыхания почвы и расчета коэффициента метаболической активности микроорганизмов использовали общепринятый метод [2]. Исследование агрохимических свойств субстрата в полевом эксперименте проводили с использованием общепринятых методов [13].



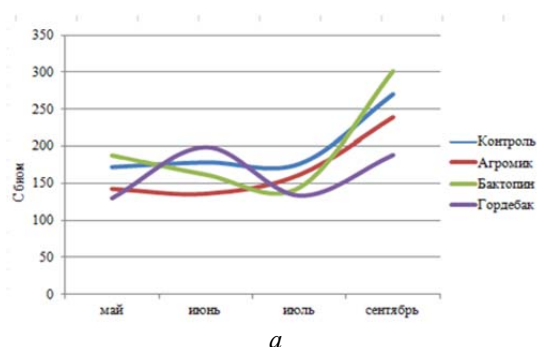
а



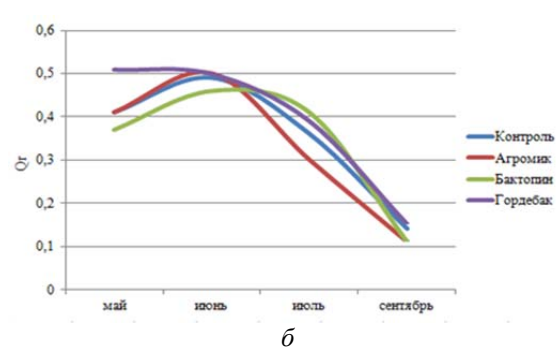
б

**Рисунок 1 – Карьер «Орковичи», Новогрудский район, Гродненская область:  
а – общий вид площади карьера, б – опытные посадки лесных культур**

Прослежены изменения почвенно-биологических характеристик субстратов, обработанных бактериальными удобрениями. Отмечалось, что динамические кривые накопления микробомассы не соответствуют единому тренду (рис. 2а), однако на момент последних измерений наблюдался подъем концентрации во всех исследуемых вариантах от мая к сентябрю. Субстрат, обрабатываемый препаратом «Бактопин», содержал наибольшее количество микробного материала, однако наиболее интенсивная метаболическая активность на протяжении всего периода наблюдения зафиксирована в варианте с обработкой «Гордебаком».



а



б

**Рисунок 2 – Микробиологические показатели почвенного субстрата, вегетационный период 2024 г.  
а – микробная биомасса; б – метаболический коэффициент**

Результирующий показатель – коэффициент метаболической активности микроорганизмов (соотношение дыхания почвы и микробной массы) менялся согласно тренду, стабильно снижаясь в период с июля по сентябрь (рис. 2б).

Из полученных агрохимических данных следует: значения обменной кислотности снижены во всех опытных вариантах. Увеличение концентрации аммонийного азота было зафиксировано в группе, обрабатываемой «Бактопином», а содержание обменного калия – в

группе, обрабатываемой «Агромиком». Вероятно, это говорит о более активном разложении органических соединений. Тем не менее, повышения содержания подвижного фосфора и гумуса зафиксировано не было (табл.1).

**Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвенного субстрата, сентябрь 2024 г.**

| Вариант опыта | pH <sub>H2O</sub> | pH <sub>KCl</sub> | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Гумус, %   |
|---------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------|
| Контроль      | 8,5               | 7,8               | 92,0±0,8                       | 1,3±0,1                        | 359,8±2,0                     | 173,7±3,5        | 0,40±0,06  |
| Агромик       | 8,5               | 7,7               | 90,6±1,9                       | 1,6±0,1*                       | 353,0±2,5*                    | 182,0±1,4*       | 0,20±0,01* |
| Бактопин      | 8,4               | 7,5               | 95,3±1,5*                      | 1,3±0,1                        | 310,0±1,5*                    | 174,7±4,4        | 0,38±0,05  |
| Гордебак      | 8,5               | 7,5               | 81,9±1,2                       | 1,3±0,1                        | 354,0±2,0*                    | 159,9±0,5*       | 0,20±0,07* |

\*Примечание – статистически значимый показатель при  $p < 0,95$

Полученные данные свидетельствуют об активизации процессов фосфатмобилизации и аммонификации после добавления бактериальных препаратов, что повышало вынос элементов растениями и снижение их концентрации в субстрате. Почвенные организмы являются сапрофитами, поэтому усиление их активности приводило к снижению содержания органического вещества за счет повышения активности деструкционных процессов, в результате чего не наблюдалось накопление гумуса. Таким образом, обогащение песчаного субстрата агрономически полезными штаммами микроорганизмов целенаправленно воздействует на протекающие в нем процессы, улучшая эдафические условия и стимулируя рост лесных культур.

#### Список литературы

1. Препарат для стимуляции роста лесного посадочного материала и декоративных растений / З. М. Алещенкова [и др.] // Наука и инновации. – 2019. – №3(193). – С. 26–30.
2. Микробное дыхание почв подтайги и лесостепи европейской части России: полевой и лабораторный подходы / Н. Д. Ананьева [и др.] // Почвоведение. – 2020. – №10. – С. 1276–1286.
3. Гаврилова, О. И. Восстановление растительного покрова песчано-гравийных карьеров лесокультурными методами / О. И. Гаврилова // Resources and Technology. – 2010. – Т. 8. – С. 21–25.
4. Кожевников, Н. В. Отечественный и зарубежный опыт биологической рекультивации нарушенных земель / Н. В. Кожевников, А. В. Заушницев // Вест. Кемер. гос. ун-та. Сер.: Биол., техн. науки и науки о Земле. – 2017. – Т. 1(1). – С. 43–47.
5. Кузина, Е. В. Фосфатсольбилизующие бактерии рода *Pseudomonas* и эффективность их применения для увеличения доступности фосфора / Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова, Т. Ю. Коршунова // Изв. Уфим. НЦ РАН. – 2021. – № 3. – С. 11–16.
6. Шабанова, Е. Е. Лесная рекультивация нарушенных земель при добыче песчано-гравийных смесей / Е. Е. Шабанова, А. С. Ворожцова, Е. С. Черненко // Вест. Ижев. гос. с.-х. акад. – 2010. – № 4. – С. 77–80.
7. Anderson, T. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state / T. H. Anderson, K. H. Domsch // Biology and fertility of soils. – 2020. – №1 (2). – P. 81–89.
8. Генотипические и возрастные различия текущего прироста голубики на фоне внесения минеральных и микробных удобрений на выработанных торфяных месторождениях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] // Бюлл. Гл. бот. сада. – 2018. – № 2. – С. 44–59.
9. Применение микробного препарата Агромик при возделывании пряно-ароматических культур / В. Н. Босак [и др.] // Вест. БГСХА. – 2020. – №3. – С. 117–121.
10. Влияние биопрепаратов на формирование биометрических показателей, накопление биомассы и структуру урожайности льна масличного / М. Е. Маслинская [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2023. – №59. – С. 181–189.
11. Сафронова, Г. В. Влияние микробных препаратов на рост и развитие декоративных древесных растений / Г. В. Сафронова, И. М. Гаранович, З. М. Алещенкова // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. Том 7. – Минск : Респ. унит. Пред. "Изд. дом "Беларуская навука", 2015. – С. 266–277.
12. Влияние микробных удобрений на биометрические характеристики саженцев ели европейской и сосны обыкновенной при рекультивации / А. П. Яковлев [и др.] // Экологическая культура и охрана окружающей среды: IV Дорофеевские чтения: мат-лы межд. науч.-практ. конф., Витебск, 29 ноября 2024 г. – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – С. 227–229.
13. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.

## ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ПОДЛЕСОЧНЫМ ЯРУСОМ, СФОРМИРОВАННЫМ ИРГОЙ КОЛОСИСТОЙ (*AMELANCHIER SPICATA*)

Моцный В. В., Гомолко А. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: vitalmotsny@gmail.com, kupalinka20@gmail.com

*Проанализированы основные особенности распространения ирги колосистой (Amelanchier spicata) в сосновых насаждениях. Отобран дендрохронологический материал деревьев сосны и произрастающих под пологом древостоя кустов ирги колосистой. По результатам измерений радиального прироста отобранных образцов древесины (керы и стилы) были построены древесно-кольцевые хронологии сосны и ирги. Проведен их сравнительный анализ.*

Ирга колосистая (*Amelanchier spicata*) является агрессивным и быстрораспространяющимся инвазивным видом в лесах Беларуси. Особенно это выражено для сосновых насаждений с типом условий местопроизрастания А<sub>2</sub>–В<sub>2</sub>, и приурочено к центральным и западным регионам страны. Однако, сплошные заросли, образованные данным видом под пологом сосновых насаждений, встречаются практически по всей территории Беларуси. Распространяется ирга семенами, в основном птицами, в рацион которых входят ягоды данного кустарника, однако у нее также выражено вегетативное размножение, что позволяет ирге быстро образовывать монодоминантные заросли, в лесах – сомкнутый ярус подлеска и даже второй ярус древостоя, при этом резко снижается разнообразие, что приводит к необратимым изменениям лесных фитоценозов. К тому же это может приводить к падению продуктивности и устойчивости древостоев, под пологом которых ирга формирует густой подлесок. В основном подобным нежелательным трансформациям лесных фитоценозов подвергаются сосняки мшистых орляковых серий типов леса, которые являются одними из самых распространенных в нашей стране. Таким образом, ирга колосистая является серьезной угрозой для природных экосистем и лесного хозяйства [4].

Следует отметить, что как отечественными учеными [4], так и исследователями из ближнего зарубежья [5], выполнены работы по изучению основных угроз и путей распространения ирги колосистой в сосновых насаждениях. Эти исследования направлены на выявление негативных явлений, которые оказывает ирга на сосновые фитоценозы, описывают основные факторы, которые способствуют экспансии, либо напротив, сдерживают распространение данного вида под пологом леса. В то же время, дендрохронологического анализа закономерностей радиального прироста данного инвазивного вида и соснового древостоя не проводилось.

С целью изучения влияния зарастания ирги на сосновое насаждение была заложена временная пробная площадь в выделе 11 квартала 131 лесничестве Узденского лесхоза с распространением ирги по всему выделу. Данный таксационный выдел площадью 2,7 га относится к эксплуатационным лесам. Насаждение характеризуется как чистое (10С+Б,Е), одноярусное, IV класса возраста (приспевающее) и относится к орляковой серии типов леса. Тип лесорастительных условий – В<sub>2</sub>. Средний возраст насаждения, установленный инструментально по отобранным кернам, составил 79 лет, полнота – 0,7. Рельеф участка ровный, сам участок характеризуется однородностью. Подлесочный ярус практически полностью представлен иргой колосистой с густотой более 5 тыс. шт/га (густой подлесок).

На пробной площади были отобраны 50 образцов древесины (кернов) сосны по 2 на каждое дерево с последующим получением средних значений радиального прироста. Образцы древесины (керы) отбирали возрастным буром у деревьев I–II классов Крафта без видимых признаков механических повреждений и пороков [2].

Так же равномерно по участку были отобраны 25 спилов наиболее крупных экземпляров произрастающей здесь ирги. Для дендрохронологического исследования образцы древесины отбирались у стволиков диаметром более 6 см на высоте 0.5 м.

В качестве контроля для сравнительного дендрохронологического анализа было отобрано 40 образцов древесины (керны) в сосновом насаждении, где ирга под пологом не встречается, с теми же условиями местопроизрастания (B<sub>2</sub>) и того же класса возраста, что и обследуемый древостой (IV класс возраста).

В камеральных условиях образцы сканировались на сканере HP ScanjetG4010 с разрешением 1200 dpi. Измерение ширины годичных колец выполнено по отсканированному изображению в программном обеспечении ArcGIS с точностью 0,01 мм. Для каждого дерева из двух измеренных кернов получали усредненный ряд. Для спилов ирги измерения проводились не менее, чем по двум радиусам. Перекрестное датирование, выявление ложных и выпавших колец проведено с использованием кросскорреляционного анализа [2].

Стандартизация изменчивости радиального прироста проводилась для каждого дерева с дальнейшим усреднением индексов с построением стандартизированной хронологии. Для сглаживания возрастных кривых отдельных деревьев сосны использован 21-летний сплайн [1], которым удалялась не только возрастная кривая, но долгопериодические колебания. Кроме того, это в значительной степени позволило элиминировать изменения в приросте, связанные с рубками ухода и иной хозяйственной деятельностью. Перекрестное датирование отдельных серий годичных колец и древесно-кольцевых хронологий выполнено в программе COFESHA 6.06P, с визуальной проверкой по графикам, построенным в программном пакете Microsoft Excel [2].

В результате проведенных измерений были построены 2 древесно-кольцевых хронологий для деревьев сосны на пробной площади (UZD25) и в контрольном насаждении (Ctrl24). Также была построена хронология для ирги колосистой (IRG25) протяженностью 46 лет (рисунок 1) с распределением образцов по возрасту от 29 до 52 лет.

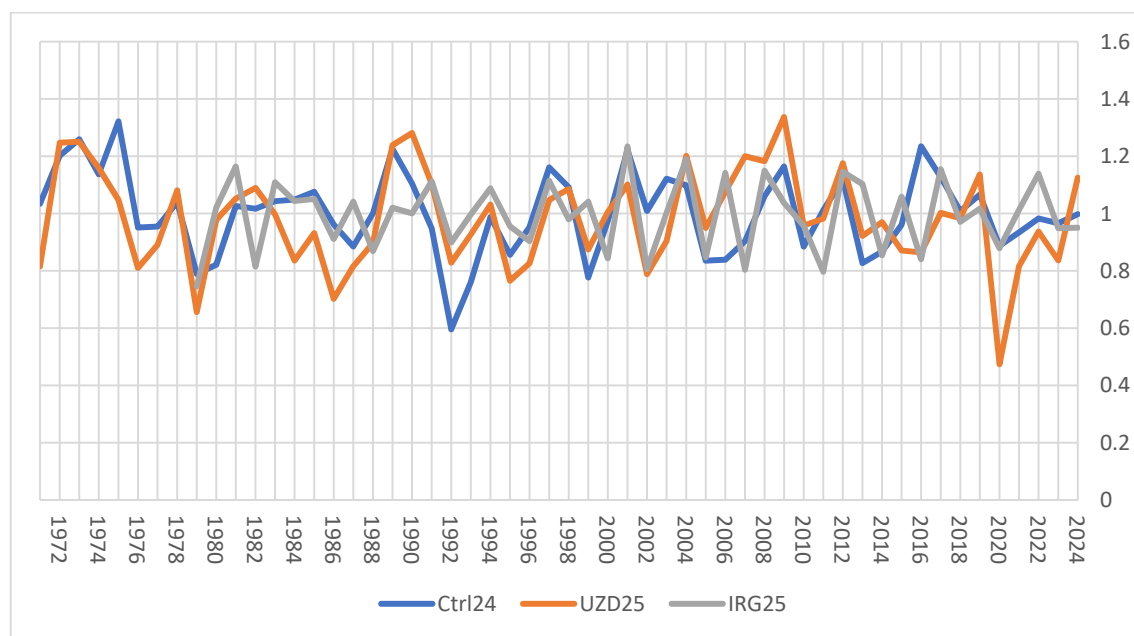


Рисунок 1 – Стандартизированные древесно-кольцевые хронологии деревьев сосны и ирги

Анализ данных хронологий показал невысокую корреляцию между значениями радиальных приростов деревьев сосны и стволиками кустов ирги (коэффициент корреляции 0,40), однако следует отметить резкое падение прироста в годы с неблагоприятными климатическими условиями, что видно на графике. Резкое снижение прироста отмечается для всех хронологий в 1979, 1992, 1995, 1999, 2002, 2010, 2015, 2018, 2020, 2023 гг. Именно в

эти годы на территории Беларуси отмечались наиболее крупные засухи [3], что негативно повлияло на приросты как деревьев сосны, так и на иргу, растущую под пологом древостоя. Это может говорить о том, что несмотря на дефицит света, который испытывают растения ирги, неблагоприятные климатические факторы (засухи) так же негативно влияют на прирост ирги, как и на деревья сосны. Это свидетельствует о том, что иргу можно потенциально использовать для дендрохронологических и дендроклиматических исследований в условиях Беларуси.

Корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий показывает значимую связь между радиальными приростами деревьев сосны на пробной площади и в контрольном насаждении (0,81). Исходя из этих данных, можно сделать вывод о том, что основные факторы, влияющие на радиальный прирост сосны – климатические, в то время как влияние ирги на древостой выражено слабо, либо крайне незначительно. Таким образом, прямого негативного воздействия зарослей ирги на радиальный прирост деревьев сосны в сосновом насаждении выявлено не было, однако это не исключает возможность косвенного негативного влияния (повышение пожарной опасности насаждения) и долгосрочного вредного воздействия (изменение лесорастительных условий ввиду трансформации лесного фитоценоза), что может отразиться на устойчивости и продуктивности таких насаждений.

#### Список литературы

1. Битвинскас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т. Т. Битвинскас, – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 172 с.
2. Ермохин, М. В. Методика потерь прироста древесины на основе дендрохронологических материалов / М. В. Ермохин, А. В. Пугачевский. – Минск : Право и экономика, 2011. – 24с.
3. Прогноз состояния природной среды Беларуси за период до 2035 года / В. М. Байчоров [и др.]; под общ. ред. В. С. Хомича ; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 332 с.
4. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; Нац. акад. наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 407 с.
5. Dobravolskaitė, R. Development and age of *Amelanchier spicata* shrubs / R. Dobravolskaitė // Acta Biol. Univ. Daugavp., Suppl. – 2010. – p 145–152.

## ВЫСОКОВОЗРАСТНЫЕ ДЕРЕВЬЯ МИНСКА: РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Нестюк А. М., Вознячук И. П.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: antonina.nestyuk95@gmail.com, ipv@tut.by

*Аннотация:* в публикации изложены основные результаты мониторинга высоковозрастных деревьев г. Минска, проведенного в течение двух вегетационных периодов в 2024–2025 гг. В результате обследования оценено текущее состояние деревьев, а также определены и проанализированы факторы среды, негативно влияющие на показатели их жизненного состояния и устойчивости. Всего проинвентаризировано 472 дерева, отличающиеся выдающимися возрастными и/или биометрическими параметрами.

Город Минск обладает уникальным природным ресурсом – высоковозрастными деревьями, представляющими собой фрагменты коренных лесных массивов и старинных усадебных парков, отдельные деревья, сохранившиеся от частных усадеб, подворий или фрагментов городского озеленения. К категории высоковозрастных отнесены деревья, возраст которых составляет 100 и более лет. Эти деревья-долгожители, как носители исторической информации и эталоны видов, являются важной составляющей природного и культурного наследия города.

Комплексное обследование высоковозрастных деревьев на территории г. Минска было проведено в течение 2-х вегетационных периодов в 2024 и 2025 гг. Всего проинвентаризировано 472 дерева, отличающихся выдающимися возрастными и/или биометрическими характеристиками.

Оценка жизненного состояния обследованных деревьев выявила преобладание жизнеспособных экземпляров. Анализ текущего состояния показал, что почти половина деревьев (48,3%, 228 экземпляров) не имеет признаков ослабления и характеризуется как «здоровые». К категории «ослабленные» отнесено 44,7% (211 деревьев), а доля «сильно ослабленных» составила 5,7% (27 деревьев). Доля усыхающих деревьев среди обследованных оказалась незначительной и составила всего 1,3% (6 деревьев). Данные показатели в целом свидетельствуют об эффективности мероприятий по уходу за высоковозрастными деревьями, а также указывают на своевременное удаление аварийных древесных экземпляров.

Анализ распределения деревьев по категориям состояния в разрезе отдельных видов выявил определенные закономерности. Наиболее высокие значения индекса состояния отмечены для клена платановидного (*Acer platanoides* L.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) – 90,8 и 84,4 соответственно, что свидетельствует об их хорошей адаптации к условиям городской среды. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), составляющая значительную часть (173 шт.) обследованных деревьев, также характеризуется относительно высоким индексом состояния (84,3). Однако, для дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), также широко представленного в городских насаждениях (106 шт.), индекс состояния несколько ниже (74,3), что может быть связано с его большей восприимчивостью к антропогенным факторам и болезням.

Следует отметить, что для некоторых видов, представленных ограниченным количеством экземпляров (например, береза повислая (*Betula pendula* Roth), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), ольха черная (*Alnus glutinosa* L.), клен ложноплатановый (*Acer pseudoplatanus* L.) и др.), оценка индекса состояния не проводилась из-за недостаточности выборки. Тем не менее, наличие в их составе деревьев, отнесенных к категории «здоровые», свидетельствует об их потенциальной устойчивости к условиям городской среды.

Почти у третьей части обследованных деревьев (159 штук, 33,7 %) отмечались открытые механические раны, пустоты в стволах и другие повреждения природного и антропогенного характера, которые способствуют ухудшению состояния деревьев и в целом сокращают

продолжительность их жизни. Такие деревья нуждаются в специальных мерах по лечению ран (обработке, дезинфицированию, нанесению защитных покрытий и др.), а также проведению мероприятий, направленных на повышение иммунитета к неблагоприятным факторам. В настоящее время такие работы не проводятся, или проводятся недостаточно, что в значительной степени снижает эстетическое восприятие больших деревьев, угрожает их устойчивости, а в отдельных случаях создает потенциальную угрозу безопасности населения и сохранности имущества.

В ходе проведенной инвентаризации у 117 обследованных деревьев (24,8% от общего числа) была выявлена стволовая гниль. Обнаружение стволовой гнили является значимым индикатором состояния древесного организма, свидетельствующим о поражении древесины грибами-ксилофагами.

Наличие стволовой гнили, несмотря на ее неблагоприятный признак, не является безусловным индикатором скорой гибели дерева. Динамика развития стволовой гнили может быть пролонгированной, а степень ее влияния на общее состояние дерева определяется комплексом факторов, включающим таксономическую принадлежность гриба-возбудителя, степень деструкции древесины, возрастные характеристики и физиологическое состояние дерева, а также условия окружающей среды.

В рамках комплексного обследования проводилась оценка эстетических характеристик и степень аварийности деревьев. В результате установлено, что наивысшая эстетическая оценка (5 баллов из 5) была присвоена 33,3% деревьев. Оценка в 4 балла из 5 была присвоена 40,7% деревьев, которые соответствуют функциональному назначению, однако демонстрируют незначительные изменения в габитусе, связанные с частичным нарушением пропорций «крона-ствол» и наличием незначительных механических повреждений. Указанные недостатки могут быть устранены путем проведения соответствующих мероприятий по уходу. Удовлетворительная оценка (3 балла) была присвоена 21% деревьев. Неудовлетворительные эстетические свойства, характеризующиеся значительными отклонениями в развитии, выраженными повреждениями ствола и кроны, оказывающими существенное влияние на внешний облик дерева, были зафиксированы у 4,9% обследованных экземпляров.

На наличие или отсутствие повреждений у высоковозрастных деревьев могут влиять экстремальные факторы природного и/или антропогенного происхождения. Ослабление дерева в результате внешнего негативного воздействия повышает его уязвимость к поражению вредителями и патогенными организмами. Формы проявления повреждений различны и зависят от интенсивности воздействия и текущего физиологического состояния дерева.

К природным факторам относятся: экстремальные погодные условия (шквалистые и ураганные ветра, критические значения температур, избыточное увлажнение или засухи и другие атмосферные явления (градобитие, снеговал, снеголом, бурелом), а также стволовые, хвое- и листогрызущие вредители, паразиты и полупаразиты (фитопатогенные грибы, бактерии и вирусы, некоторые высшие растения (омела) и др.).

К антропогенным факторам относятся: прямое механическое воздействие (повреждение корневой системы, кроны или ствола деревьев) и косвенное изменение условий среды (уплотнение и загрязнение, почвы, нарушение гидрологического режима), обусловленные антропогенной деятельностью. Указанные факторы являются одними из самых распространенных причин повреждений деревьев, связанных с несоблюдением природоохранных требований, беспечностью людей и действиями неквалифицированных специалистов. Вследствие этого даже жизнеспособные деревья нередко подвергаются негативному антропогенному воздействию.

Результаты инвентаризации, основанные на анализе выявленных повреждений различного генезиса у 190 деревьев, демонстрируют многофакторный характер воздействий на состояние высоковозрастных деревьев на территории г. Минска (рисунок 1). Повреждения антропогенного генезиса являются существенным фактором риска, обуславливающий 46 % всех зарегистрированных случаев. Высокий процент случаев антропогенного воздействия, в

частности, механических повреждений ствола и нарушений целостности корневой системы, сигнализирует о необходимости более эффективного управления городской средой и повышения осведомленности населения о ценности вековых деревьев и насаждений. Это подчеркивает необходимость усиления мер по защите деревьев от вандальных действий, а также более тщательного планирования и проведения строительных работ вблизи древесных насаждений, с обязательным учетом требований по сохранению целостности корневой системы.



Рисунок 1 – Доля (%) участия различных видов повреждений от общего числа поврежденных деревьев

Вклад природных факторов в общую структуру повреждений составляет 54 % от общего числа зафиксированных случаев. Среди факторов природного характера доминируют поражения паразитическими организмами (17 %) и слом ветвей и вершин (15 %), что подчеркивает важность мониторинга распространения заболеваний и своевременного проведения санитарной обрезки для поддержания здоровья кроны и снижения риска ветровала. Значительное место также занимают полупаразиты (8 %), что требует контроля численности их популяций. Факторы, связанные с неблагоприятными климатическими условиями, такие как морозобоины, солнечный ожог коры и поражения молнией, также вносят вклад в ослабление деревьев, что указывает на необходимость выбора пород, адаптированных к местным климатическим условиям. Относительно низкая доля повреждений, вызванных вредителями, может быть связана с недостаточной их идентификацией, требующая более детального изучения.

Важно отметить, что различные виды деревьев проявляют различную степень уязвимости к воздействию природных и антропогенных факторов. Дуб черешчатый, липа мелколистная и сосна обыкновенная характеризуются широким спектром повреждений, обусловленных как природными, так и антропогенными факторами, что определяет необходимость разработки комплексных стратегий защиты для этих наиболее ценных и подверженных риску видов.

В целом, согласно проведенному анализу, можно сделать вывод, что высоковозрастные деревья на территории г. Минска находятся преимущественно в удовлетворительном состоянии. Однако, наличия комплекса угроз природного и антропогенного генезиса может повлечь ухудшение их состояния и повышение риска гибели. Для эффективного сохранения этих ценных элементов городского ландшафта требуется системный подход, включающий регулярный мониторинг состояния деревьев, текущее выявление и устранение причин повреждений, реализацию комплекса мер по снижению негативного воздействия природных

и антропогенных факторов, а также повышение уровня экологической осведомленности общества в отношении ценности вековых деревьев.

Следует отметить, что вековые деревья и насаждения включены в базу данных НАН Беларуси «Особо ценные деревья и насаждения города Минска», а деревья и насаждения, представленные старейшими представителями для различных видов, охраняются в статусе ботанических памятников природы местного значения.

*Исследования выполнены в рамках задания подпрограммы «Устойчивое природопользование и инновационные технологии переработки, охраны и воспроизводства природных ресурсов» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» (2020–2025 гг.).*

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПРОФИЛЕ ПОЧВЫ АГРОЦЕНОЗА ЯЧМЕНЯ

Новикова А. А., Бачура Ю. М.

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь  
e-mail: novikovaalyona2000@gmail.com, julia\_bachura@mail.ru

*Исследование альгоцианобактериальных сообществ в различных микроразонах посевов ячменя выявило их выраженную пространственную дифференциацию. Установлено абсолютное доминирование цианобактерий в ризосфере (47,1 %) и Heterokontophyta на периферии (47,8 %), тогда как корневая зона характеризовалась максимальным видовым богатством. Chlorophyta демонстрировали устойчивое представительство во всех микроразонах (26,1–35,7 %). Полученные результаты важны для разработки систем биоиндикации и методов биологической рекультивации почв. Исследование вносит значительный вклад в понимание организации почвенных альгоцианобактериальных сообществ в агроэкосистемах.*

Почвенные альгоцианобактериальные сообщества играют ключевую роль в функционировании агроэкосистем, участвуя в процессах почвообразования, круговороте веществ и поддержании биоразнообразия. Высока пространственная гетерогенность распределения почвенных водорослей и цианобактерий, что обусловлено комплексом абиотических и биотических факторов. В частности, микроразональные различия в условиях увлажнения, освещенности, содержания органического вещества приводят к формированию специфических альгоцианобактериальных комплексов даже в пределах одного агроценоза [1].

Особый интерес представляет изучение данных сообществ в посевах зерновых культур, где антропогенная нагрузка сочетается с естественными процессами почвенной дифференциации. Исследование состава альгоцианобактериальных сообществ на этих территориях чрезвычайно актуально, поскольку позволяет не только оценить степень адаптации микроорганизмов к возмущающим факторам, но и выявить их потенциал для биоиндикации состояния почв, разработки методов рекультивации нарушенных земель и оптимизации агротехнологий [2].

В связи с этим, целью настоящего исследования стало комплексное изучение таксономического состава почвенных водорослей и цианобактерий в различных микроразонах посевов ячменя.

Объектом исследования стали почвенные микроводоросли и цианобактерии дерново-подзолистых почв, которые представляют особый интерес для сельского хозяйства как один из наиболее распространённых и продуктивных типов пахотных земель в умеренной зоне.

Отбор проб проводили в окрестностях агрогородка Лопатино (Гомельский регион, Республика Беларусь) на территории сельскохозяйственного предприятия ОАО «Агрокомбинат «Южный»». Участок характеризуется дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами, отсутствием значительных антропогенных нарушений (эрозия, переуплотнение) и однородностью почвенного покрова, что позволяет минимизировать погрешности эксперимента. Почвенные образцы отбирали стерильным ножом по квадратам 5 × 5 × 5 см в четырёх микроразонах: ризосфере, корневой зоне, междурядье и на контрольном участке вне поля, по пять штук в каждой из микроразон с трёхкратной повторностью. Видовой состав водорослей выявляли с помощью чашечных культур со «стеклами обрастания». Просмотр стекол обрастания проводили через 2, 4 и 6 недель после посева [3].

Идентифицировали водоросли и цианеи с помощью микроскопа Nikon Eclipse 80i (увеличения ×400, ×1000), снабженного масляным иммерсионным объективом. При определении систематического положения водорослей использовали размерно-морфологические показатели клеток, трихомов, колоний. Для разграничения некоторых родов учитывали особенности строения вегетативных и генеративных клеток, особенности

размножения [4]. Определяли систематическое положение по электронным базам данных AlgaeBase, CyanoDB и определителям [5].

В ходе исследования был выявлен 41 род водорослей и цианобактерий из 29 семейств, 20 порядков, 10 классов отделов Chlorophyta (31,7 %), Cyanobacteria (29,3 %), Heterokontophyta (29,3 %), Charophyta (7,3 %) и Euglenophyta (2,4 %).

Отдел Chlorophyta был представлен классами Chlorophyceae (61,5 %), Trebouxiophyceae (30,8 %) и Ulvophyceae (7,7 %), 7 порядками: Volvocales (30,8 %) Chlamydomonadales (23 %), Trebouxiales (15,4 %), Chlorellales, Ulotrichales, Prasiolales и Sphaeropleales (по 7,7 %). В семейственном спектре преобладали Chlorosarcinaceae, Chlorococcaceae, Trebouxiaceae, Actinochloridaceae (по 15,4 %). Доля представителей семейств Chlorellaceae, Chlamydomonadaceae, Ulotrichaceae, Prasiolaceae и Scenedesmaceae была равнозначной и составила по 7,7 %.

Отдел Cyanobacteria включал исключительно класс Cyanophyceae, среди порядков которого абсолютно доминировали Nostocales (58,3 %), тогда как Oscillatoriales составляли 16,7 %, а Leptolyngbyales, Synechococcales и Chroococcales – по 8,3 % каждый. Среди выявленных семейств доминировали Nostocaceae (25 %) и Aphanizomenonaceae (16,7 %), в то время как Oscillatoriaceae, Microcystaceae, Tolypothrichaceae, Rivulariaceae, Microcoleaceae, Leptolyngbyaceae и Synechococcaceae встречались с равной частотой – по 8,3 %.

В структуре отдела Heterokontophyta выделялись три класса с сопоставимым представительством Bacillariophyceae и Xanthophyceae (по 41,7 %) и заметно меньшей долей Eustigmatophyceae (16,7 %). Таксономический анализ порядков показал превалирование Naviculales (33,3 %) и Tribonematales (25 %) над остальными таксонами – Mischococcales и Eustigmatales (по 16,7 %), а также Bacillariales (8,3 %). Среди семейств наибольшее распространение получили Tribonemataceae (25 %), Naviculaceae и Chlorobotryaceae (по 16,7 %), тогда как пять других семейств (Bacillariaceae, Botrydiopsisaceae, Pleurochloridaceae, Pinnulariaceae и Stauroneidaceae) демонстрировали низкую встречаемость (по 8,3 %).

Отдел Charophyta был представлен двумя классами: Klebsormidiophyceae (75 %) и Zygnematophyceae (25 %), каждый из которых соответствовал одноимённым порядкам и семействам.

Отдел Euglenophyta включал только один класс, порядок и семейство, соответствующие его систематическому положению.

Проведенный анализ таксономической структуры альгоцианобактериальных сообществ (таблица 1) выявил значительную вариабельность в распределении таксономических групп фотосинтезирующих микроорганизмов между изучаемыми микроразнообразиями. Наибольшее видовое разнообразие было зарегистрировано в корневой зоне и междурядьях, тогда как в ризосфере отмечено минимальное количество видов.

**Таблица 1 – Структура почвенных альгоцианобактериальных сообществ**

| Микроразнообразия                                                                                                                                     | Таксономическая структура                                                                  | Всего видов |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Ризосфера                                                                                                                                             | Cyan <sub>8</sub> Het <sub>3</sub> Chlor <sub>6</sub>                                      | 17          |
| Корневая зона                                                                                                                                         | Cyan <sub>7</sub> Char <sub>2</sub> Het <sub>8</sub> Chlor <sub>10</sub> Eugl <sub>1</sub> | 28          |
| Междурядье                                                                                                                                            | Cyan <sub>10</sub> Char <sub>1</sub> Het <sub>8</sub> Chlor <sub>9</sub>                   | 28          |
| Контроль                                                                                                                                              | Cyan <sub>6</sub> Het <sub>11</sub> Chlor <sub>6</sub>                                     | 23          |
| Примечание: Cyan – Cyanobacteria, Eugl – Euglenophyta, Char – Charophyta, Het – Heterokontophyta, Chlor – Chlorophyta, индексы указывают число видов. |                                                                                            |             |

В ризосфере наблюдали абсолютное доминирование цианобактерий (47,1 % от общего числа видов), при умеренном развитии Chlorophyta (35,3 %) и минимальном представительстве Heterokontophyta (17,6 %). Charophyta и Euglenophyta в данной микроразнообразии полностью отсутствовали.

Корневая зона характеризовалась более сбалансированным составом с относительным преобладанием Chlorophyta (35,7 %). При этом значительную долю сообщества составляли Heterokontophyta (28,6 %) и Cyanobacteria (25 %). Характерной особенностью микроразнообразия

стало наличие единичных представителей Charophyta (7,1 %) и Euglenophyta (3,6 %), отсутствующей в других зонах.

Междурядья выделялись максимальным развитием цианобактерий (35,7 %) при сохранении высокой доли Chlorophyta (32,1 %) и Heterokontophyta (28,6 %). Отмечено присутствие Charophyta (3,6 %).

Контрольный участок демонстрировал уникальную структуру сообщества с абсолютным доминированием Heterokontophyta (47,8 %) и равным участием Cyanobacteria и Chlorophyta (по 26,1 %).

Проведенное исследование альгоцианобактериальных сообществ в различных микроразнообразиях посевов ячменя на дерново-подзолистых почвах выявило комплекс закономерностей, имеющих важное значение для понимания функционирования агроэкосистем. Результаты демонстрируют выраженную пространственную дифференциацию таксономической структуры изучаемых сообществ, что проявляется в значительных различиях видового состава между микроразнообразиями – от минимального разнообразия в ризосфере (17 видов) до максимального в корневой зоне и междурядьях (по 28 видов).

Особый интерес представляет выявленная специфика распределения доминирующих таксономических групп. В ризосфере отмечено абсолютное доминирование цианобактерий (47,1 % от общего числа видов), что, вероятно, связано с их повышенной толерантностью к воздействию корневых экссудатов и специфическим ризосферным условиям. Корневая зона, характеризующаяся наиболее сбалансированным составом, выделялась присутствием всех изученных отделов, включая редкие Euglenophyta, что может рассматриваться как индикатор особых микроклиматических условий этой микроразнообразия. Междурядья отличались максимальным развитием цианобактерий (35,7 %), вероятно обусловленным благоприятными условиями освещенности, в то время как периферийная зона демонстрировала уникальную структуру с доминированием Heterokontophyta (47,8 %), что указывает на их повышенную устойчивость к неблагоприятным факторам.

Важной закономерностью стало устойчивое представительство Chlorophyta во всех микроразнообразиях (26,1–35,7 %), подтверждающее их ключевую роль в формировании почвенных альгоцианобактериальных сообществ. Одновременно прослеживается четкая тенденция увеличения доли Heterokontophyta от центра к периферии, тогда как Charophyta и Euglenophyta имеют ограниченное распространение, выступая индикаторами специфических условий корневой зоны.

Полученные результаты являются первичными данными о структуре альгоцианобактериальных сообществ агроценозов ячменя, они существенно расширяют современные представления о пространственной организации почвенных фотосинтезирующих микроорганизмов в агроэкосистемах. В настоящее время ведутся дальнейшие исследования по уточнению видового состава данных сообществ и оценке их вклада в процессы почвообразования и плодородия. Выявленные закономерности распределения таксономических групп создают научную основу для разработки систем биоиндикации состояния почв, оптимизации агротехнических приемов с учетом микроразнообразных особенностей и разработки методов биологической рекультивации деградированных земель. Особую практическую значимость представляют установленные индикаторные таксоны, перспективные для мониторинга состояния агроценозов и прогнозирования изменений почвенных микробиологических сообществ под влиянием антропогенных факторов.

#### Список литературы

- 1 Hu, J. Soil Microbiome and Agroecosystem Multifunctionality / J. Hu, C. Wang, X. Li // *Frontiers in Microbiology*. – 2025. – Vol. 16. – P. 45-62
2. Кондакова, Л. В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги Европейской части России) : автореф. дис. ... д-ра

биол. наук : 03.02.08; 03.02.01 / Кондакова Любовь Владимировна ; Вятск. гос. гуманит. ун-т, лаб. биомониторинга Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2012. – 34 с.

3. Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей : учеб. пособие / Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров. – Уфа : Изд-во БГПУ, 2008. – 151 с.

4. Лукьянов, В. А. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе / В. А. Лукьянов, А. И. Стифеев. – Курск : Изд-во Курск. гос. с.-хоз. акад., 2014. – 181 с.

5. Современные методы выделения, культивирования и идентификации зеленых водорослей (Chlorophyta) / А. Д. Темралеева, Е. В. Минчева, Ю. С. Букин, А. М. Андреева. – Кострома : Костромской печатный дом, 2014. – 215 с.

## **СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА РЕДКИХ И УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА Г. МИНСКА**

Полячок Т. С., Вознячук И. П.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: [tpolyachok@mail.ru](mailto:tpolyachok@mail.ru)

*В тезисах представлена структура базы данных (БД) для систематизации и анализа информации о редких и уникальных объектах растительного мира г. Минска, Описана структура БД, реализованная в формате Excel и включающая три таблицы, взаимосвязанные ключевым полем. Представлены основные характеристики таблиц, включая состав полей и типы хранимой информации. Разработанная структура БД предназначена для упрощения доступа к информации о редких и уникальных объектах растительного мира г. Минска, обеспечения возможности ее использования в целях мониторинга, охраны и планирования мероприятий по сохранению.*

Отдельные деревья-долгожители и высоковозрастные насаждения представляют собой уникальные объекты растительного мира, являющиеся эталонами видов, носителями ценной дендрохронологической информации и значимым компонентом природного ландшафта [1]. Несмотря на наличие в Беларуси охраняемых территорий, представленных ботаническими памятниками природы, которыми охвачены наиболее значимые представители деревьев и насаждений (75 республиканского значения и 287 местного [2]), существенное количество уникальных высоковозрастных деревьев и насаждений остается за пределами системы охраны, располагаясь на землях населенных пунктов, в лесных массивах, на территории частных усадеб и старинных парков. В связи с этим, выявление, инвентаризация и учет таких объектов представляет собой актуальную научную задачу [3]. Систематизация и интеграция накопленной информации (фотографии, описания, картосхемы) являются необходимым условием для обеспечения доступа к данным для всех заинтересованных сторон. Таким образом, разработка базы данных, картографического обеспечения и других интерактивных инструментов, обобщающих и отображающих результаты исследований и обеспечивающих платформу для проведения анализа, имеет значительную актуальность.

Целью данного исследования является разработка структуры базы данных «Редкие и уникальные объекты растительного мира на территории Минска» (далее – База данных) включающей информацию о существующих и рекомендуемых памятниках природы, а также об особо ценных деревьях и насаждениях города.

В рамках исследования была разработана структура Базы данных, реализованная в формате Excel, включающая три взаимосвязанных таблицы: «Привязка и площадь», «Рабочий дневник – деревья», «Рабочий дневник – насаждения». Связь между указанными таблицами обеспечивается посредством ключевого поля, представленного «Ключевым номером участка».

Таблица «Привязка и площадь» содержит информацию о географическом местоположении каждого объекта (координаты, адрес, ориентир, а для земель лесного фонда – сведения о лесхозе, лесничестве, квартале и выделе), а также данные о площади каждого объекта (рисунок 1). Поле «Ключевой номер участка» является первичным ключом, обеспечивающим связь с другими таблицами, расположенными на отдельных листах Excel.

Таблица «Рабочий дневник – деревья» содержит детальную информацию о каждом учтенном дереве, включая его видовую принадлежность, категорию, определенную характером произрастания (отдельное дерево, группа деревьев, в составе естественного насаждения, старинный парк или аллея), биометрические параметры (периметр ствола, три измерения высоты – общая, высота начала кроны, высота максимальной ширины кроны, а также размеры кроны по сторонам горизонта), площадь проекции кроны (рассчитываемую автоматически), возраст (определенный дендрохронологически, путем подсчета приростных



номер участка»). В дополнение к основным таблицам База данных содержит листы-справочники, включающие кодированный перечень категорий насаждений (удаленные деревья по результатам мониторинга двух периодов – 2015 и 2025 гг., отдельное дерево или группа деревьев, участок естественного насаждения, старинный парк и аллея) и информацию об их статусе обследования или охраны, с указанием действующих памятников природы и объектов, рекомендуемых к охране.

| 1  | A                      | C              | D               | E            | F             | G          | H          | I                  | J            | K                               | L             | M            | N   | O       | P                     | Q                             | R                         | S              |
|----|------------------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|------------|------------|--------------------|--------------|---------------------------------|---------------|--------------|-----|---------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------|
| 2  | Ключевой номер участка | Лес-во (лесн.) | Тип насажде-ния | Квартал (KV) | Выдел (VYDEL) | Координаты |            | Кап. земель (KZEM) | Порода (POR) | Тип условн. местопроиз-растания | Тип леса (TL) | Возраст, лет |     | № керна | Площадь, га (AREADOC) | Преобладающ. ий бонитет (BON) | Состав древостоя (Sostav) | Полнота (POLN) |
| 3  | 1                      | 2              | 3               | 4            | 5             | 6          | 7          | 8                  | 9            | 10                              | 11            | 12           | 13  | 14      | 15                    | 16                            | 17                        | 18             |
| 39 | 7099_2                 | Городск.       | Леса, расг.     | 73           | 11            | 53.8793471 | 27.7088170 | Насажд.естест.     | C            | B2                              | OP            | 105          | -   | -       | 0,6                   | 1                             | 8C2E                      | 50             |
| 40 | 7100_2                 | Городск.       | Леса, расг.     | 35           | 3             | 53.9500013 | 27.7103240 | Насажд.естест.     | E            | C2                              | OP            | 105          | 144 | №15     | 1,1                   | 1                             | 4E3C3T                    | 35             |
| 41 | 7101_2                 | Городск.       | Леса, расг.     | 77           | 5             | 53.8786857 | 27.7092262 | Насажд.естест.     | C            | B2                              | OP            | 100          | 71  | №63     | 1                     | 1                             | 7C3E                      | 60             |
| 42 | 7102_2                 | Городск.       | Леса, расг.     | 35           | 11            | 53.9437574 | 27.7150248 | Насажд.естест.     | C            | B2                              | OP            | 105          | 129 | №13     | 0,7                   | 1                             | 10C+E                     | 55             |
| 43 | 7103_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 85           | 6             | 53.9634955 | 27.4693457 | Насажд.естест.     | C            | B3                              | ЧЕР           | 100          | 100 | №62     | 1,8                   | 2                             | 10C+E+6                   | 60             |
| 44 | 7104_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 8             | 53.9507004 | 27.4860653 | Насажд.естест.     | Д            | Д2                              | КИС           | 100          | 102 | №6      | 1,5                   | 1                             | 5Д3С2ОС+Б+                | 75             |
| 45 | 7105_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 18            | 53.9484907 | 27.4875900 | Насажд.естест.     | C            | C2                              | ОР-КИС        | 145          | 183 | №4      | 3,9                   | 1                             | 7С1Е1Д1Л+В (2 - 10лн)     | 60             |
| 46 | 7106_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 29            | 53.9462864 | 27.4873377 | Насажд.естест.     | C            | C2                              | КИС           | 145          | -   | №1      | 0,7                   | 1                             | 10С+ОС+Дс                 | 55             |
| 47 | 7107_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 15            | 53.9500088 | 27.4873159 | Насажд.естест.     | E            | Д2                              | КИС           | 105          | -   | №5      | 1,6                   | 1                             | 8Е2С (2 - 5к+5лн)         | 70             |
| 48 | 7108_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 7             | 53.9518159 | 27.4880689 | Насажд.естест.     | E            | Д2                              | КИС           | 105          | 74  | №7      | 1,2                   | 1А                            | 7Е3С+Д+ЛП+ОС+Б            | 65             |
| 49 | 7109_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 2             | 53.9537609 | 27.4886741 | Насажд.естест.     | Д            | Д2                              | КИС           | 105          | 106 | №12     | 2                     | 2                             | 5Д2ОП+ОС1С                | 40             |
| 50 | 7110_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 6             | 53.9518828 | 27.4893786 | Насажд.естест.     | C            | C2                              | ОР-КИС        | 105          | 148 | №8      | 1,6                   | 1                             | 7С2Л+Д+Е+                 | 65             |
| 51 | 7111_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 20            | 53.9485517 | 27.4894494 | Насажд.естест.     | C            | C2                              | ОР            | 105          | 152 | №3      | 2,1                   | 1                             | 9С1Е+Д+Л+П+К              | 70             |
| 52 | 7112_2                 | Иджаное        | Леса, расг.     | 99           | 27            | 53.9474176 | 27.4903509 | Насажд.естест.     | C            | C2                              | КИС           | 115          | 174 | №2      | 3,1                   | 1                             | 10С (2 - 10лн)            | 75             |
| 53 | 7113_2                 | Соснен.        | Леса, расг.     | 104          | 7             | 53.8372351 | 27.7611172 | Насажд.естест.     | C            | B2                              | OP            | 100          | -   | -       | 4,8                   | 1                             | 9С1Е+Б                    | 60             |

Рисунок 3 – Фрагмент таблицы «Рабочий дневник – насаждения»

В настоящее время в разработанную Базу данных внесены сведения о 135 редких и уникальных объектах растительного мира на территории города Минска. В том числе перечень объектов включает: 42 отдельных дерева (или группы деревьев), 8 аллей и парков, 85 участков естественных насаждений, возраст которых составляет 100 лет и более. Представленное количество объектов подтверждает значимость Базы данных как инструмента для инвентаризации и мониторинга. Также в таблице хранится информация об удаленных деревьях. Тот факт, что за последнее десятилетие было утрачено 12 ценных деревьев, подчеркивает необходимость усиления мер по их сохранению и повышению эффективности системы мониторинга и ухода. Структура Базы данных обеспечивает возможность дальнейшего расширения за счет добавления новых объектов.

Таким образом, разработанная структура Базы данных обеспечивает систематизированное хранение информации о редких и уникальных объектах растительного мира г. Минска, упрощая доступ к данным для заинтересованных сторон и обеспечивая возможность ее использования для целей инвентаризации, мониторинга, охраны и планирования мероприятий по сохранению ценных деревьев и насаждений.

*Исследование выполнено в рамках задания подпрограммы «Устойчивое природопользование и инновационные технологии переработки, охраны и воспроизводства природных ресурсов» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» (2020–2025 гг.)*

#### Список литературы

1. Живые памятники: редкие и уникальные деревья и насаждения Беларуси / И. П. Вознячук [и др.] ; под ред. А. В. Пугачевского. – Минск : Белорусская Энциклопедия имени Петруся Бровки, 2021. – 360 с. : ил.
2. Список особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.minpriroda.gov.by/ru/svg\\_map-ru/list](https://www.minpriroda.gov.by/ru/svg_map-ru/list). – Дата доступа: 30.07.2025.
3. Проект «Редкие и уникальные деревья и насаждения Беларуси» / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купровича Национальной академии наук Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://botany.by/news/2016/08/proekt-redkie-i-unikalnye-derevya-i-nasazhdeniya-belarusi/>. – Дата доступа: 30.07.2025.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Роговский Н. М.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: nikita.rogovski.03@gmail.com

*В статье рассматривается применение модели LANDIS-II для анализа динамики растительности в национальном парке "Беловежская пуща" с использованием лесотаксационных материалов, данных о почвенном покрове и климатических сценариев RCP. Описана методология подготовки входных данных и настройка модели для симуляции сукцессионных процессов. Работа носит обзорный характер, где раскрывается сущность использования данного подхода к моделированию растительности национального парка "Беловежская пуща".*

Национальный парк «Беловежская пуща» является одним из уникальнейших природных объектов в мире, имеющий многовековой охранный режим. Объект охватывает площадь около 150 тысяч гектаров и является частью всемирного наследия ЮНЕСКО. В условиях глобального изменения климата, антропогенного воздействия и естественных нарушений динамика растительности парка требует тщательного прогнозирования для принятия стратегии по устойчивому управлению.

Моделирование лесных экосистем становится ключевым инструментом для понимания динамических процессов растительности. Одной из наиболее эффективных моделей для симуляции динамики лесной растительности на различных пространственных и временных масштабах является LANDIS-II (Landscape Disturbance and Succession model) [2]. Эта модель позволяет учитывать взаимодействия между растительностью и природными условиями объекта исследования.

Основная идея LANDIS-II заключается в представлении ландшафта как сетки ячеек (пикселей), где каждая ячейка содержит информацию о составе древостоя, биомассе, возрасте деревьев и почвенных характеристиках.

Модель работает на основе модульной структуры, включающей базовый модуль сукцессии (например, Biomass Succession) и дополнительные расширения для нарушений (Disturbance Extensions), таких как пожары (Fire Extension), ветровалы (Wind Extension), насекомые (Insect Extension), а также антропогенные воздействия (Harvest Extension). LANDIS-II симулирует рост деревьев, конкуренцию за ресурсы, дисперсию семян и смертность, учитывая экологические ниши видов.

Модель обладает рядом преимуществ для работы на локальном уровне. Симуляции могут охватывать любую размерность, однако на примере национального парка «Беловежская пуща» было определено, что ячейки размером 1 га являются наиболее репрезентативными на подобном масштабе исследований. Также одним из преимуществ модели является относительная простота в использовании, где можно создавать неограниченное количество таксонов растительности с разделением на когорты по возрасту и объему текущей биомассы по формациям. Также современные и сценарные климатические данные, легко интегрируются в модель.

Корректность проводимой симуляции в LANDIS-II напрямую зависит от достоверности входных данных. Для исследования используются лесотаксационные материалы, почвенная карта на уровне разновидностей и климатические сценарные данные.

Данные таксации леса преобразуются в карту начальных сообществ (Initial Communities Map). В LANDIS-II это реализуется через таблицы параметров видов, где указываются экологические характеристики, такие как продолжительность жизни, толерантность к тени, скорость роста и дисперсия семян и многие другие. Всего в национальном парке выделяется 12 древесных формаций, распространение и объем биомассы которых моделируется.

Почвенная карта с характеристиками почв интегрируется как карта экорегионов (Ecoregion Map). Карта почв национального парка представляет собой 79 почвенных разновидностей, включенных в 11 типов почв. Эти данные влияют на продуктивность сайтов через модуль сукцессии, где почвенные факторы определяют максимальную биомассу и скорость её прироста. В модели почвы классифицируются по экорегионам, каждому из которых присваиваются уникальные параметры, позволяющие симулировать как почвенные ограничения влияют на сукцессию, например, способствуя доминированию сосны на бедных песчаных почвах или дуба на более плодородных.

Климатические данные вводятся как таблицы месячных температур и осадков для каждого экорегиона, основанные на сценариях Representative Concentration Pathways (RCP), разработанных IPCC. Сценарии RCP включают четыре направления изменения климата: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5. Данные извлекаются из глобальных климатических моделей (например, CMIP6 [1]).

Таблица 1 – Характеристика сценариев RCP

| Название сценария | Изменения радиационного баланса (Вт/м <sup>2</sup> к 2100 году) | Прогнозируемое повышение температуры к 2100 году | Характеристика                                       |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| RCP2.6            | ≈2.6                                                            | ≈1,5-2,0                                         | Агрессивное сокращение выбросов, устойчивое развитие |
| RCP4.5            | ≈4.5                                                            | ≈2,5-3,0                                         | Умеренные меры по сокращению выбросов                |
| RCP6.0            | ≈6.0                                                            | ≈3,0-3,5                                         | Ограниченные климатические усилия                    |
| RCP8.5            | ≈8.5                                                            | ≈5,0                                             | Максимальные выбросы                                 |

После инвентаризации всех входных данных, настройки сценария работы модели в определенном модуле производятся её запуск (рисунок 1). Итоговая выходная продукция представляет собой карты-схемы биомассы по каждой породе во всех ячейках сетки. Промежуточные карты составляются через заданный интервал в сценарии. Также составляется карта-схема общей биомассы всего древостоя.

```
Running Biomass Succession ...
growing cohorts ...
% done:  0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
Progress: ++++++
Computing shade ...
% done:  0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
Progress: ++++++
Cohort reproduction ...
% done:  0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
Progress: ++++++
dataset created: biomass-succession\biomass-anpp-40.tif
Running Output Biomass ...
Writing total biomass map to outputs/biomass/biomass-TotalBiomass-40.tif ..
dataset created: outputs/biomass/biomass-TotalBiomass-40.tif
Writing woody biomass map to outputs/biomass/biomass-woody-40.tif ...
dataset created: outputs/biomass/biomass-woody-40.tif
Writing non-woody biomass map to outputs/biomass/biomass-non-woody-40.tif ..
dataset created: outputs/biomass/biomass-non-woody-40.tif
Writing beriozab biomass map to outputs/biomass/biomass-beriozab-40.tif ...
dataset created: outputs/biomass/biomass-beriozab-40.tif
Writing dubchere biomass map to outputs/biomass/biomass-dubchere-40.tif ...
dataset created: outputs/biomass/biomass-dubchere-40.tif
Writing grabobyk biomass map to outputs/biomass/biomass-grabobyk-40.tif ...
dataset created: outputs/biomass/biomass-grabobyk-40.tif
```

Рисунок 1 – Проведение симуляции модели на основе инвентаризированных данных

Концептуальная схема проведения моделирования представлена рисунке 2.

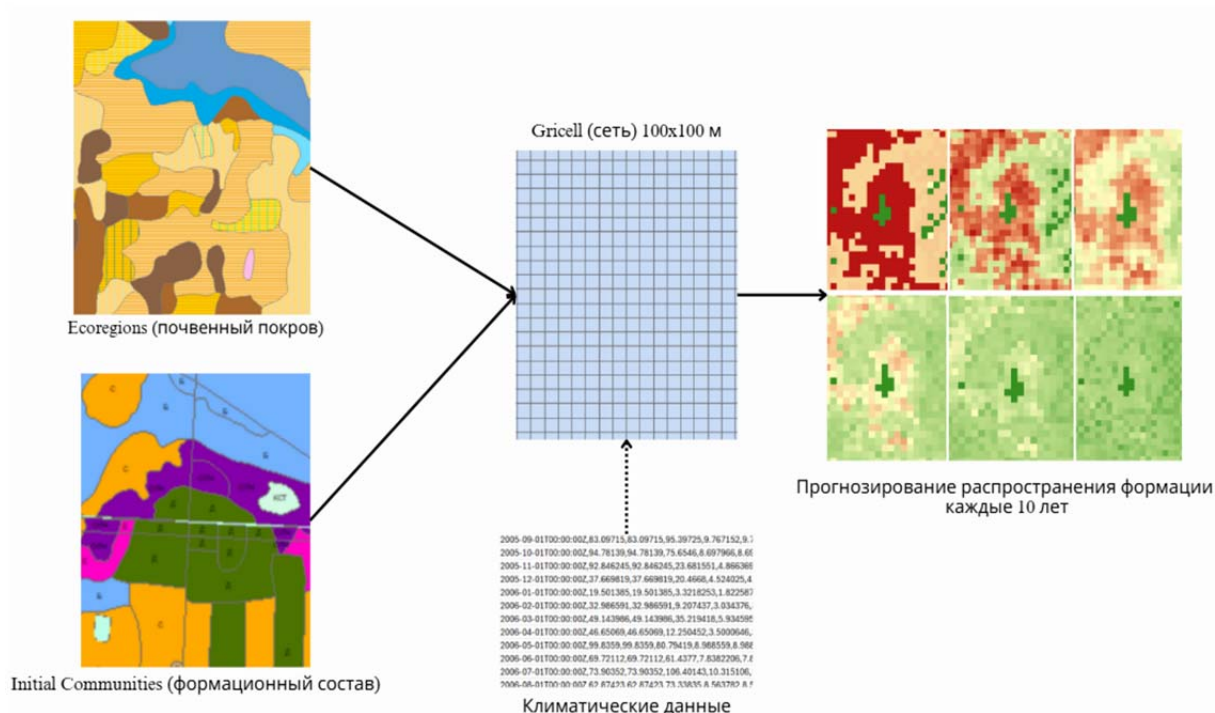


Рисунок 2 – Общая схема прогнозного моделирования с использованием модели LANDIS-II

Корректность работы модели определяется запуском симуляции с ретроспективными данными. Для оценки достоверности получаемых результатов при моделировании используются почвенные данные, являющиеся в исследовании константной единицей, лесотаксационные материалы за 1962 год и климатические показатели за период проверки.

Использование LANDIS-II с данными лесоустройства, почвенной карты и климатическими сценариями представляет мощный инструмент для понимания динамики растительности в Беловежской пуще. Этот подход помогает в разработке мероприятий по сохранению биоразнообразия и адаптации к изменению климата.

#### Список литературы

1. Шестой оценочный отчёт МГЭИК [Электронный ресурс]. – URL: [https://mpr.meteoinfo.ru/images/media/books-docs/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_Russian.pdf](https://mpr.meteoinfo.ru/images/media/books-docs/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf) (дата обращения: 15.07.2025).
2. LANDIS-II Forest Landscape Model [Электронный режим]. – URL: <https://www.landis-ii.org/> (дата обращения: 15.07.2025).

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДЕРАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПОЛОЦКОГО РАЙОНА

Романюк А. С., Куликова Е. Я.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
e-mail: [ali.romanyuk@yandex.ru](mailto:ali.romanyuk@yandex.ru), [kulikova22@mail.ru](mailto:kulikova22@mail.ru)

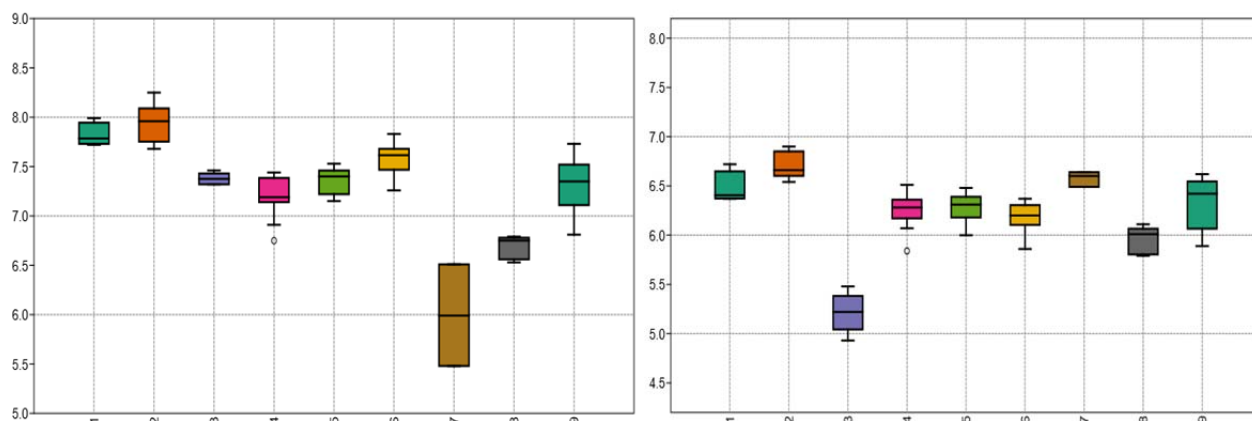
*Рудеральная растительность залежных земель Полоцкого района представлена 9 ассоциациями, которые отнесены к 4 союзам, 4 порядкам и 3 классам. Исследуемые травяные фитоценозы предпочитают освещенные участки, нейтральные или умеренно кислые почвы, которые умеренно богаты или богаты питательными веществами. Требования к увлажненности соотносятся со стадией сукцессионных изменений сообществ.*

Оценка экологического состояния растительности заброшенных сельскохозяйственных земель позволяет прогнозировать развитие залежных биогеоценозов, разрабатывать практические предложения по их дальнейшему использованию и введению в аграрный оборот [2].

Полевые геоботанические описания рудеральных сообществ выполнены в июне — июле 2019 года на территории Полоцкого района Витебской области классическими методами [1]: маршрутно-рекогносцировочным и маршрутно-детальным. Растительные сообщества описаны по общепринятой методике [1]. Эколого-флористическая классификация растительности проведена в соответствии с общими установками направления Браун-Бланке [4]. Для принятия синтаксономических решений использовались: метод t-SNE [12, 10], метод связывания (UPGMA) [8, 3], значение верности (Fidelity) [11, 5] и экспертная оценка. Подсчет показателей по экологическим шкалам Элленберга проведен в программе JUICE с учетом проективного покрытия видов. Индикаторные значения по каждому фактору взяты из обновленного списка значений для европейских видов растений [7]. Графики box-plot по отдельным экологическим факторам и ординация методом неметрического шкалирования (NMS) [6] выполнены в программе PAST [8]. Статистическая значимость корреляций факторов среды с осями в неметрической ординации оценена на основе рангового коэффициента корреляции Спирмена и расчета p-значений пермутационным тестом [8].

На основе анализа 78 геоботанических описаний установлено, что рудеральная растительность залежных земель Полоцкого района представлена 9 ассоциациями, которые отнесены к 4 союзам, 4 порядкам и 3 классам (названия высших единиц классификации приведены по «Vegetation of Europe...» [9]). Класс *Sisymbrietea* включает ассоциацию (асс.) *Chenopodietum albi* Solomeshch in Ishbirdin et al. 1988; класс *Artemisietea vulgaris* – асс. *Melilotetum albo-officinalis* Sissingh 1950, асс. *Dactylido glomeratae–Lupinetum polyphyllis* Bulokhov et al. 2020, асс. *Calamagrostidetum epigeios* (Elias 1978) Kost. 1991, асс. *Convolvulo arvensis–Elytrigietum repentis* Felföldy 1943, асс. *Elytrigio repentis–Cirsietum arvensis* Prunier et Guenat in Prunier et al. 2018; класс *Epilobietea angustifolii* – асс. *Elytrigio repentis–Aegopodietum podagrariae* Tüxen 1967, асс. *Chaerophylletum aromatici* Neuhäuslová-Novotná et al. 1969 и асс. *Urtico dioicae–Heracleetum sosnowskyi* Panasenکو et al. 2014.

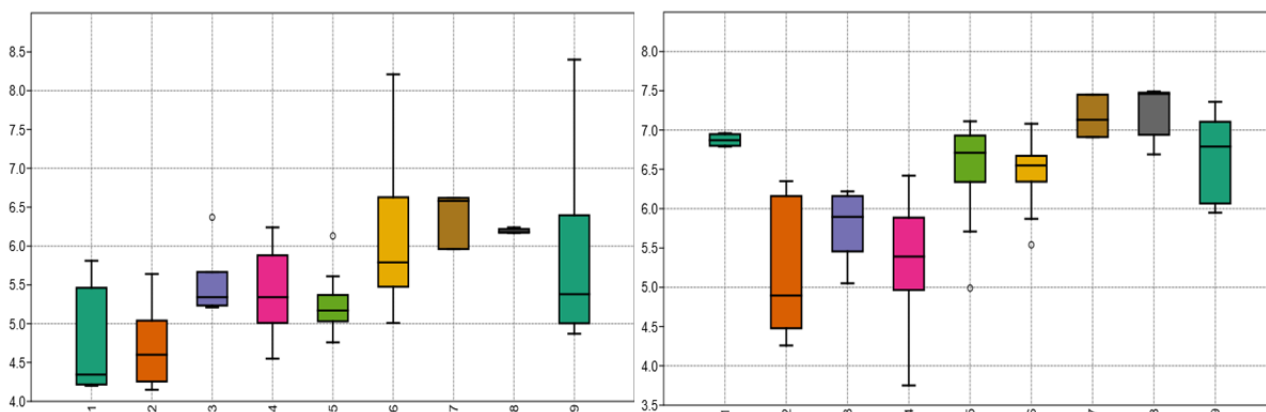
Сравнительный анализ синэкологических оптимумов рудеральных сообществ залежных земель показал, что все исследуемые фитоценозы предпочитают освещенные участки, за исключением асс. *Elytrigio repentis–Aegopodietum podagrariae* и *Chaerophylletum aromatici*, которые успешно развиваются и в затененных местообитаниях (рисунок 1). По отношению к кислотности почвы растительные сообщества формируются в основном на нейтральных и умеренно кислых почвах (рисунок 1).



1 – *Chenopodietum albi*, 2 – *Melilotetum albo-officinalis*, 3 – *Dactylido glomeratae-Lupinetum polyphyllis*, 4 – *Calamagrostidetum epigeios*, 5 – *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis*, 6 – *Elytrigio repentis-Cirsietum arvensis*, 7 – *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae*, 8 – *Chaerophylletum aromatici*, 9 – *Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi*

**Рисунок 1 – Синэкологические оптимумы по факторам освещенности/затенения (слева) и кислотности почвы (справа) рудеральных сообществ залежных земель**

Растительные сообщества первых восстановительных стадий формируются в диапазоне от суховатых до свежих почв, травяные фитоценозы следующих восстановительных стадий более требовательны к увлажнению и произрастают на средневлажных и влажных почвах (рисунок 2). Все исследуемые сообщества предпочитают умеренно богатые или богатые питательными веществами местообитания (рисунок 2).

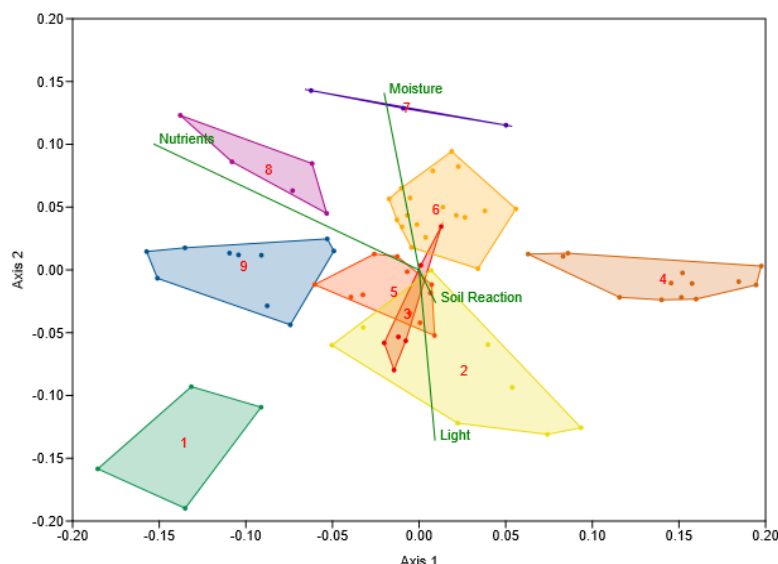


1 – *Chenopodietum albi*, 2 – *Melilotetum albo-officinalis*, 3 – *Dactylido glomeratae-Lupinetum polyphyllis*, 4 – *Calamagrostidetum epigeios*, 5 – *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis*, 6 – *Elytrigio repentis-Cirsietum arvensis*, 7 – *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae*, 8 – *Chaerophylletum aromatici*, 9 – *Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi*

**Рисунок 2 – Синэкологические оптимумы по факторам увлажненности (слева) и богатства почвы (справа) сообществ рудеральной растительности залежных земель**

Таким образом, перечисленные экологические закономерности отражены в результатах NDMS-ординации, согласно которой определяющими факторами в дифференциации сообществ установленных синтаксонов являются влажность почвы и ее богатство минеральным азотом (рисунок 3).

Большинство таксонов дифференцированы друг от друга, для отдельных синтаксономических единиц экологические пространства перекрываются. Взаимное положение синтаксонов на ординационной диаграмме отражает верность принятых синтаксономических решений.



1 – *Chenopodietum albi*, 2 – *Melilotetum albo-officinalis*, 3 – *Dactylido glomeratae-Lupinetum polyphyllis*, 4 – *Calamagrostidetum epigeios*, 5 – *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis*, 6 – *Elytrigio repentis-Cirsietum arvensis*, 7 – *Elytrigio repentis-Aegopodietum podagrariae*, 8 – *Chaerophylletum aromatici*, 9 – *Urtico dioicae-Heracleetum sosnowskyi*

Направление и сила связи вектора с осями NMS по отдельным факторам:

Освещенность/затенение (light): axis 1 – 0.0354 ( $p>0.05$ ), axis 2 – -0.5780 ( $p>0.05$ )

Увлажненность почвы (moisture): axis 1 – -0.1001 ( $p>0.05$ ), axis 2 – 0.6201 ( $p=0.0001$ )

Кислотность почвы (soil reaction): axis 1 – 0.0329 ( $p>0.05$ ), axis 2 – -0.1032 ( $p=0.0453$ )

Богатство почвы (nutrients): axis 1 – -0.6550 ( $p=0.0001$ ), axis 2 – 0.4304 ( $p=0.0002$ )

**Рисунок 3 – Диаграмма непрямой многофакторной ординации (NMS) синтаксонов рудеральной растительности залежных земель (Stress=0.266)**

### Список литературы

1. Джус, М. А. Геоботаника. Учебная практика: учеб. пособие / М. А. Джус, Н. А. Лемеза. – Минск : БГУ, 2015. – 128 с.
2. Синтаксономическое разнообразие рудеральной растительности залежей Витебской области / Е. Я. Куликова, Г. В. Ермоленкова, К. В. Добыш, А. С. Романюк // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования : материалы II Междунар. научн. конференции, г. Минск, 24–27 сентября 2024 года / Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск : ИВЦ Минфина. – 2024. – С. 114–118.
3. Сушко, Г. Г. Методы сравнительного анализа видового состава насекомых различных местообитаний с использованием программной среды R / Г. Г. Сушко // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2021. – Вып. 2. – С. 21–28.
4. Braun-Blanquet, J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde / J. Braun-Blanquet. – Wien-New York : Springer-Verlag, 1964. – 865 s.
5. Chytrý, M. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures / M. Chytrý [et al.] // Journal of Vegetation science. – 2002. – Vol. 13, № 1. – P. 79–90.
6. Clarke, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure / K. R. Clarke // Australian Journal of Ecology. – 1993. – Vol. 18. – P. 117–143.
7. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species / L. Tichý [et al.] // Journal of Vegetation Science. – 2023. – P. 1–13.
8. Hammer, Ø. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis / Ø. Hammer, D. A. T. Harper // Palaeontologia electronica. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 1–9.
9. Mucina, L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. / L. Mucina [et al.] // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19, № 1. – P. 3–264.
10. Pedregosa, F. Scikit-learn: Machine learning in Python / F. Pedregosa [et al.] // the Journal of machine Learning research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825–2830.
11. Tichý, L. JUICE, software for vegetation classification / L. Tichý // Journal of Vegetation Science. – 2002. – Vol. 13. – P. 451–453.
12. Van der Maaten, L. Visualizing data using t-SNE / L. Van der Maaten, G. Hinton // Journal of machine learning research. – 2008. – Vol. 9, № 11. – P. 2579–2605.

## ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ ТРАВЯНОГО НИЗИННОГО БОЛОТА СПОРОВСКОЕ ПРИ КОШЕНИИ И ПИРОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рымша О. С., Зеленкевич Н. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: olia.rymsha@mail.ru

*Изучены изменения биомассы растительных сообществ травяного низинного болота Споровское (заказник «Споровский», Беларусь). Представлены данные о биомассе (общая, по агроботаническим группам и опад) при комбинации кошения и пала и после естественного пожара. Выявлен статистически значимый рост общей надземной фитомассы и опада через 4 года после воздействия кошения и контролируемого пала; на послепожарном участке общая фитомасса осталась стабильной, однако изменилась ее структура (выросла доля разнотравья). Доминирование осок сохранилось в обоих случаях. Отмечены различия в высоте кочек.*

**Введение.** Одними из ценных природных комплексов Беларуси являются низинные травяные болота, которые играют важную роль в поддержании биоразнообразия. На сегодняшний день к основной угрозе данным экосистемам относится зарастание древесно-кустарниковой растительностью. Этот процесс ведет к утрате местообитаний редких видов растений и животных и смене травяных сообществ на лесные. Можно выделить несколько причин данных изменений: нарушение гидрологического режима, прекращение традиционного использования данных территорий для сенокоса и выпаса скота, естественные сукцессионные процессы, направленные на формирование лесной растительности на открытых участках. Для борьбы с зарастанием используют: регулярное кошение, контролируемые палы, расчистку от древесно-кустарниковой поросли и восстановление гидрологического режима [1, 2].

**Материалы и методы.** Цель – оценить изменения биомассы растительных сообществ низинного открытого болота через 4 года после естественного пожара и контролируемого пала на предварительно скошенном участке. Исследование проводили в июле 2024 г. на территории болота Споровское, которое расположено в пределах республиканского биологического заказника «Споровский». Для изучения изменений использованы данные геоботанических описаний исследуемых сообществ за июль 2020 г. из фондовых материалов лаборатории геоботаники и картографии растительности Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси.

Выбраны следующие участки – эколого-ценотический профиль (ЭПР) «Споровский 9» (SP9) на котором в 2019 г. проводили мероприятия по кошению, а весной 2020 г. – контролируемый пал. На ЭПР «Споровский 10» (SP10) мероприятия по кошению не проводили (контроль) и весной 2020 г. отмечен естественный пожар.

Использовали метод геоботанических профилей, на которых через каждые 250–300 м на постоянных пробных площадях (ППП) размером 10×10 м проводили изучение растительности [3]. В пределах профиля закладывали 1–2 пробные площади. Месторасположение ППП закреплено на местности при помощи системы спутниковой навигации. Учет надземной фитомассы нижних ярусов растительности, в зависимости от густоты травостоя, производили на укосных площадках размером 0,5×0,5 м для травяно-кустарничкового и 0,25×0,25 м для мохово-лишайникового ярусов. Для этих целей срезали надземные части в 3 кратной повторности на уровне почвы. В различные годы расположение укосных площадок менялось. Укосную массу разделяли по ботаническим группам: злаки, осоки, разнотравье, хвощи, бобовые, плауны и папоротники, зеленые мхи. А также отбирали опад на укосной площадке с площади 0,25×0,25 м. Образцы надземной фитомассы сушили до воздушно-сухого состояния и взвешивали на электронных весах с точностью до 0,1 г. Объем выполненных работ представлен в таблице 1. Расчет среднего арифметического и ошибки среднего значения проводили в MS Excel, сравнительный анализы (Уилкоксона) – в

программе Statistica 8.0. Использовали непараметрические методы анализа, так как данные не соответствовали закону нормального распределения [4].

**Таблица 1 – Характер и объем выполненных работ на исследуемых ЭПР**

| Параметр                        | ЭПР SP9                            | ЭПР SP10                           |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Кошение                         | Проводили в 2019 г.                | Не проводили                       |
| Пирогенное воздействие          | Контролируемый пал (весна 2020 г.) | Естественный пожар (весна 2020 г.) |
| Количество ППП                  | 2                                  | 1                                  |
| Количество укусных площадок (n) | 6 (3 на ППП)                       | 3                                  |
| Количество образцов             | 11 (2020 г.)<br>12 (2024 г.)       | 9 (2020 г.)<br>13 (2024 г.)        |

Примечание: ППП – постоянная пробная площадь, ЭПР – эколого-ценотический профиль

Результаты и обсуждение. На ЭПР SP9 отмечено статистически достоверное увеличение общей надземной фитомассы с  $253,9 \pm 28,9$  г/м<sup>2</sup> (2020 г.) до  $600,1 \pm 18,0$  г/м<sup>2</sup> (2024 г.) –  $Z = 2,2$ ,  $p = 0,03$  (таблица 2). Так как доля осок составляет большую часть 71,1 % (2020 г.) и 89,4 % (2024 г.), аналогично общей фитомассе масса осок значимо увеличивается к 2024 г. –  $Z = 2,2$ ,  $p = 0,03$  (2020:  $180,4 \pm 35,3$  г/м<sup>2</sup>; 2024:  $536,6 \pm 23,4$  г/м<sup>2</sup>). Фитомасса разнотравья практически не изменилась –  $Z = 0,9$ ,  $p = 0,3$  (2020:  $24,9 \pm 12,5$  г/м<sup>2</sup>; 2024:  $23,9 \pm 13,3$  г/м<sup>2</sup>). При этом доля разнотравья в 2024 г. (4,0 %) ниже в сравнении с 2020 г. (9,8 %). Надземная продуктивность злаков в 2024 г. ( $21,7 \pm 9,8$  г/м<sup>2</sup>) меньше относительно 2020 г. ( $47,5 \pm 21,8$  г/м<sup>2</sup>), однако статистически значимых различий не отмечено ( $Z = 0,9$ ,  $p = 0,3$ ). Доля злаков в общей фитомассе снижается в 2024 г. до 3,6 %, в 2020 г. она составляла 18,7 %. Масса опада в 2020 г. –  $15,2 \pm 14,9$  г/м<sup>2</sup> значительно ниже, чем в 2024 г. ( $69,6 \pm 22,5$  г/м<sup>2</sup>) (см. таблица 2). Поскольку опад в 2020 г. отмечен только на ППП 2 ЭПР SP9 (см. таблица 1), ошибка среднего арифметического довольно высокая.

**Таблица 2 – Показатели продуктивности надземной фитомассы основных ботанических групп, общей растительной биомассы и опада**

| Ботанические группы       | Надземная биомасса, г/м <sup>2</sup> ВСВ |                   | Доля в общей структуре надземной биомассы % |      |
|---------------------------|------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|------|
|                           | 2020                                     | 2024              | 2020                                        | 2024 |
| ЭПР SP 9 (n = 6)          |                                          |                   |                                             |      |
| Злаки                     | $47,5 \pm 21,8$                          | $21,7 \pm 9,8$    | 18,7                                        | 3,6  |
| Осоковые                  | $180,4 \pm 35,3$                         | $536,6 \pm 23,4$  | 71,1                                        | 89,4 |
| Разнотравье               | $24,9 \pm 12,5$                          | $23,9 \pm 13,3$   | 9,8                                         | 4,0  |
| Общая надземная фитомасса | $253,9 \pm 28,9$                         | $600,1 \pm 18,0$  | 100                                         | 100  |
| Опад                      | $15,2 \pm 14,9^*$                        | $69,6 \pm 22,5$   | –                                           | –    |
| ЭПР SP 10 (n = 3)         |                                          |                   |                                             |      |
| Злаки                     | $10,5 \pm 6,9$                           | $11,5 \pm 4,9$    | 1,4                                         | 1,8  |
| Осоковые                  | $586,8 \pm 90$                           | $389,1 \pm 89,4$  | 78,1                                        | 61,4 |
| Разнотравье               | $154,4 \pm 93,2$                         | $200,0 \pm 165,1$ | 20,5                                        | 31,5 |
| Общая надземная фитомасса | $751,7 \pm 117,0$                        | $634,0 \pm 74,0$  | 100                                         | 100  |
| Опад                      | –                                        | $131,7 \pm 53,1$  | –                                           | –    |

Примечание: ВСВ – воздушно-сухой вес, ЭПР – эколого-ценотический профиль,  $M \pm m$  (среднее  $\pm$  ошибка среднего), \* – высокая ошибка из-за небольшой выборки (n = 3)

На ЭПР SP10 показатели общей надземной фитомассы несколько ниже в 2024 г. –  $634,0 \pm 74,0$  г/м<sup>2</sup>, по отношению к 2020 г. –  $751,7 \pm 117,0$  г/м<sup>2</sup>. Не выявлено значимых изменений в биомассе злаков (2020 г. –  $10,5$  г/м<sup>2</sup>, 2024 г. –  $11,5$  г/м<sup>2</sup>) и разнотравья (2020 г. –  $154,4$  г/м<sup>2</sup>, 2024 г. –  $200,0$  г/м<sup>2</sup>). Доля разнотравья в общей продуктивности составляет 20,5 % в 2020 г. и 31,5 % в 2024 г., т. е. доля разнотравья в контроле выше, чем в варианте с кошением и палом. Надземная продуктивность осок ниже в 2024 г. ( $389,1 \pm 89,4$  г/м<sup>2</sup>) относительно 2020 г.

( $586,8 \pm 90$  г/м<sup>2</sup>). В 2024 г. масса опада составляет  $131,7 \pm 53,1$  г/м<sup>2</sup>. В 2020 г. после пожара опад не выявили (см. таблица 2).

Высота кочек на участке контроля (SP10) достигает  $33,9 \pm 1,8$  см в 2020 г. и  $31,2 \pm 2,0$  см в 2024 г. На участках, где кошение проводили высота кочек в 2020 г.  $7,7 \pm 1,0$  см (SP9), в 2024 г. высота кочек незначительно выше –  $10,3 \pm 1,2$  см.

Комбинация методов управления (кошение+пал) оказывает большее влияние на растительность низинных травяных болот, чем пожар. Однако в обоих случаях сохраняется основная структура фитоценоза, т. е. преобладание осок (рисунки 1, 2). Значительно сниженные показатели биомассы осок в 2020 г. на SP9 относительно SP10, вероятно, связаны с прохождением механизированной техники и последующим палом, что также повлияло и на снижение высоты осоковых кочек. Отмечено постепенное восстановление фитоценозов, о чем свидетельствует статистически значимое увеличение общей надземной фитомассы на ЭПР SP9 (см. таблицу 2). Через 4 года после кошения и контролируемого пала на SP9 статистически достоверно увеличилась биомасса осок. На SP10 (контроль) данный показатель надземной фитомассы довольно устойчив (см. таблицу 2). Важно отметить увеличение массы опада на SP9 и SP10, что также является показателем стабилизации сообщества после пожаров.

2020 г.

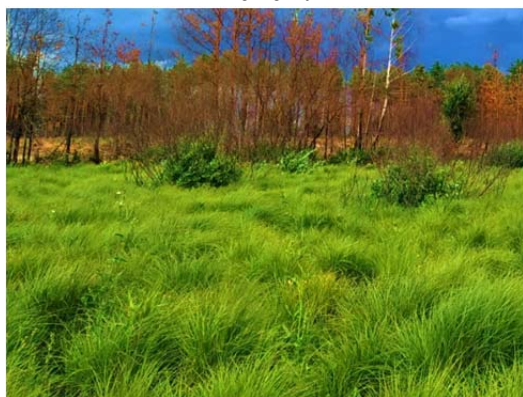


2024 г.



Рисунок 1 – Фитоценотический облик ЭПР SP9

2020 г.



2024 г.



Рисунок 2 – Фитоценотический облик ЭПР SP10

Выводы. В результате анализа полученных данных выявлено, что через 4 года после весеннего пожара на ЭПР SP10 и после кошения и контролируемого пала на ЭПР SP9 происходят процессы восстановления низинного травяного болота. Индикаторами восстановления являются: увеличение общей фитомассы сообществ и увеличение массы опада. Восстановление сообществ при комбинации кошения и управляемого пала показывает статистически значимый рост общей надземной фитомассы и растительной биомассы осок.

Восстановление после естественного пожара на ЭПР SP10 не демонстрирует значительных изменений общей фитомассы, но приводит к изменению ее структуры (снижение доли осок, рост доли разнотравья).

Благодарности. *Выражаем искреннюю благодарность канд. биол. наук, доценту Д. Г. Груммо, Е. В. Мойсейчик, Д. Ю. Жилинскому за предоставление фондовых материалов, помощь в полевых исследованиях и обработке данных.*

#### **Список литературы**

1. Методические рекомендации по повышению экологической эффективности мероприятий по управлению экосистемами низинных болот / Д. Г. Груммо, М. В. Максименков, А.В. Козулин [и др.]; НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам; Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск, 2022. – 44 с.
2. To mow or not to mow? Plant functional traits help to understand management impact on rich fen vegetation / L. Kozub, K. Goldstein, I. Dembicz [et al.] // Appl. Veg. Sci. – 2019. – № 22. – P. 27–38.
3. Ипатов, В. С. Описание фитоценоза: Методические рекомендации / В. С. Ипатов, Д. М. Мирин. – СПб : СПбГУ, 2008. – 71 с.
4. Сушко, Г. Г. Биометрия : учебное пособие для студентов учреждений образования по специальности 1-33 01 01 Биоэкология / Г. Г. Сушко ; М-во образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова». – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2023. – 109 с.

## РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОСНЯКОВ МШИСТЫХ ГРОДНЕНСКОЙ ПУЩИ НА ПРИМЕРЕ *VACCINIUM VITIS-IDAEA*

Садковская А. И.<sup>1</sup>, Созинов О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: annet.sadkovskaya@mail.ru

<sup>2</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь  
e-mail: ledum@list.ru

Урожайность облиственных побегов *Vaccinium vitis-idaea* в возрастном ряду сосняка мшистого находится в пределах от  $1,34 \pm 0,21$  до  $19,98 \pm 3,13$  г/м<sup>2</sup>. Суммарное содержание антоцианов в листьях *V. vitis-idaea* варьирует в пределах от 0,05 до 0,09 %, проантоцианидинов – от 7,54 до 8,74 %, флавоноидов – от 0,71 до 1,62 %. Закономерно ресурсно-фитохимический оптимум заготовки облиственных побегов *V. vitis-idaea* в сосняках мшистых Гродненской пуцы характерен для приспевающих древостоев.

*Vaccinium vitis-idaea* L. (брусника) – вечнозеленый кустарничек, который является важным компонент и часто доминантом травяно-кустарничкового яруса лесных сообществ (в частности, в сосновых лесах, занимающих более 50 % лесопокрытой площади Республики Беларусь) [7]. Ценнейшее дикорастущее ягодное и лекарственное растение, один из важнейших видов недревесных ресурсов леса.

Листья и побеги *V. vitis-idaea*, содержащие биологически активные вещества, широко применяются в народной и официальной медицине [3]. Ценность пищевых и лечебно-профилактических свойств этого вида обусловлена содержанием в листьях, побегах и ягодах значительного количества биологически активных соединений (БАВ) [3, 7].

В лесном хозяйстве Республики Беларусь особую ценность представляет побочное лесопользование [6], одним из вариантов которого является оценка лекарственного растительного сырья, которая в дальнейшем может привести к импортозамещению в отечественной фармацевтической промышленности.

Мониторинговые ресурсоведческие изыскания проводили на территории Гродненской Пуцы (Августовское лесничество Гродненского лесхоза, Беларусь, UTM: 34UFE<sub>3</sub>) во второй половине августа 2021 г. на возрастном градиенте культур сосняка мшистого (A<sub>2</sub>) (*Pinetum pleuroziosum*). Сбор лекарственного сырья *Cormi Vitis idaeae* (облиственные побеги *V. vitis-idaea*) осуществляли с 300 учётных площадок (S=1 м<sup>2</sup>) на пробных площадях размером 400 м<sup>2</sup> (n=15) в пяти классах возраста древостоя сосняков мшистых: I (5, 17, 20 лет), II (27, 28 лет), III (48, 53, 58 лет), IV (62, 73, 78, 78 лет), V (82, 82, 88 лет) [2, 5]. На учётных площадках глазомерно определяли проективное покрытие (%) *V. vitis-idaea*. Далее срезали облиственные побеги *V. vitis-idaea* с наиболее заполненного 1 дм<sup>2</sup> и производили воздушно-теневую сушку. Урожайность сырья с 1 м<sup>2</sup> рассчитывали, как произведение проективного покрытия вида на учетной площадке (1 м<sup>2</sup>) на абсолютную «цену» 1 % покрытия (массу воздушно-сухого сырья побегов *V. vitis-idaea* с 1 дм<sup>2</sup>).

Эксплуатационный запас (ЭЗ) и объем ежегодной заготовки (ОЕЗ) побегов *V. vitis-idaea* рассчитывали на 1 га для унификации и поиска максимальных значений ЭЗ и ОЕЗ. ЭЗ (кг/га) рассчитывали по формуле:

$$\text{ЭЗ, кг/га} = \frac{(M - 2 \cdot m) \cdot 10000 \text{ м}^2 \cdot V}{1000 \text{ г}},$$

где: *M* – средняя арифметическая величина урожайности, г/м<sup>2</sup>, *m* – ошибка средней арифметической, *V* – встречаемость *V. vitis-idaea* на пробной площади [4]. ОЕЗ (кг/га, 1 раз в 5 лет) рассчитывали, как 1/6 ЭЗ [4]. При необходимости запасы растительного сырья для заготовителей возможно оценить на реальных площадях выделов или/и кварталов (таблица). Фитоиндикацию рассчитывали по шкалам Г. Элленберга [11]. Сквозистость определяли глазомерно методом конверта (в 5 точка: четырёх углах и по центру пробной площади).

Суммарное содержание антоцианов, проантоцианидинов и флавоноидов листьев *V. vitis-idaea* определяли по общепринятым методикам [1].

Статистическую обработку данных (проверка выборки на нормальность, среднее значение и ошибка, коэффициент вариабельности, корреляционный анализ по Спирмену) проводили в Statistica 10. Далее представлены результаты одного модельного года (2021) и экстраполированы на весь период исследований.

В результате анализа ресурсных характеристик *V. vitis-idaea* в культурах сосняков мшистых (Pinetum pleurozium) нами определены диапазоны урожайности побегов *V. vitis-idaea* (Cormi Vitis idaeae): от  $1,34 \pm 0,21$  до  $19,98 \pm 3,13$  г/м<sup>2</sup> (таблица). Относительно максимальные значения урожайности Cormi Vitis idaeae ( $5,78 \pm 0,63$ – $19,98 \pm 3,13$  г/м<sup>2</sup>) отмечены в приспевающих сообществах с встречаемостью 100%, за исключением 62-летнего сообщества, в котором урожайность снизилась на 44%, вследствие проведения выборочной рубки в 2020 году [7]. Изменчивость урожайности Cormi Vitis idaeae высокая ( $C_v = 48,4$ – $123,5\%$ ), что обусловлено высокой мозаичностью популяций *V. vitis-idaea* в сосняках мшистых.

Таблица – Ресурсные характеристики *V. vitis-idaea* в культурах сосняков мшистых (Pinetum pleurozium)

| Класс<br>возраста<br>древостоя | Воз-<br>раст,<br>лет | КВ; В / S / ПП        | V, % | Урожайность, г/м <sup>2</sup> * |                    | ЭЗ,<br>кг/га | ОЕЗ, (кг/га 1<br>раз в 5 лет) |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|------|---------------------------------|--------------------|--------------|-------------------------------|
|                                |                      |                       |      | M±m                             | C <sub>v</sub> , % |              |                               |
| I                              | 5                    | 91; 5 / 2,3 га / 23   | 4    | $7,84 \pm 1,32$                 | 75,1               | 4,79         | 0,80                          |
|                                | 17                   | 83; 14 / 2,3 га / 25  | 84   | $5,04 \pm 1,01$                 | 56,7               | 58,38        | 9,73                          |
|                                | 20                   | 90; 2 / 2,6 га / 2    | 60   | $5,00 \pm 0,75$                 | 67,2               | 48,28        | 8,05                          |
| II                             | 26                   | 188; 10 / 2,4 га / 14 | 72   | $3,33 \pm 0,67$                 | 89,9               | 32,94        | 5,49                          |
|                                | 28                   | 188; 10 / 2,4 га / 28 | 76   | $2,44 \pm 0,26$                 | 46,8               | 33,70        | 5,62                          |
| III                            | 47                   | 90; 20 / 0,9 га / 5   | 100  | $6,14 \pm 1,06$                 | 77,4               | 92,27        | 15,38                         |
|                                | 52                   | 57; 12 / 1,3 га / 15  | 100  | $3,25 \pm 0,50$                 | 68,4               | 51,87        | 8,64                          |
|                                | 57                   | 82; 4 / 0,9 га / 9    | 36   | $1,36 \pm 0,16$                 | 54,1               | 8,53         | 1,42                          |
| IV                             | 62                   | 90; 12 / 3,8 га / 24  | 96   | $1,86 \pm 0,40$                 | 96,4               | 23,32        | 3,89                          |
|                                | 72                   | 83; 1 / 4,4 га / 10   | 100  | $19,98 \pm 3,13$                | 70,1               | 315,45       | 52,57                         |
|                                | 77                   | 90; 1 / 1,2 га / 3    | 100  | $5,78 \pm 0,63$                 | 48,4               | 104,22       | 17,37                         |
|                                | 77                   | 90; 3 / 1,7 га / 11   | 100  | $11,85 \pm 1,55$                | 58,5               | 201,25       | 33,54                         |
| V                              | 82                   | 58; 2 / 0,8 га / 20   | 56   | $1,34 \pm 0,21$                 | 71,5               | 11,73        | 1,95                          |
|                                | 82                   | 57; 16 / 24,5 га / 19 | 68   | $5,71 \pm 1,58$                 | 123,5              | 40,00        | 6,67                          |
|                                | 87                   | 57; 16 / 24,5 га / 19 | 100  | $3,85 \pm 0,46$                 | 53,6               | 67,39        | 11,23                         |

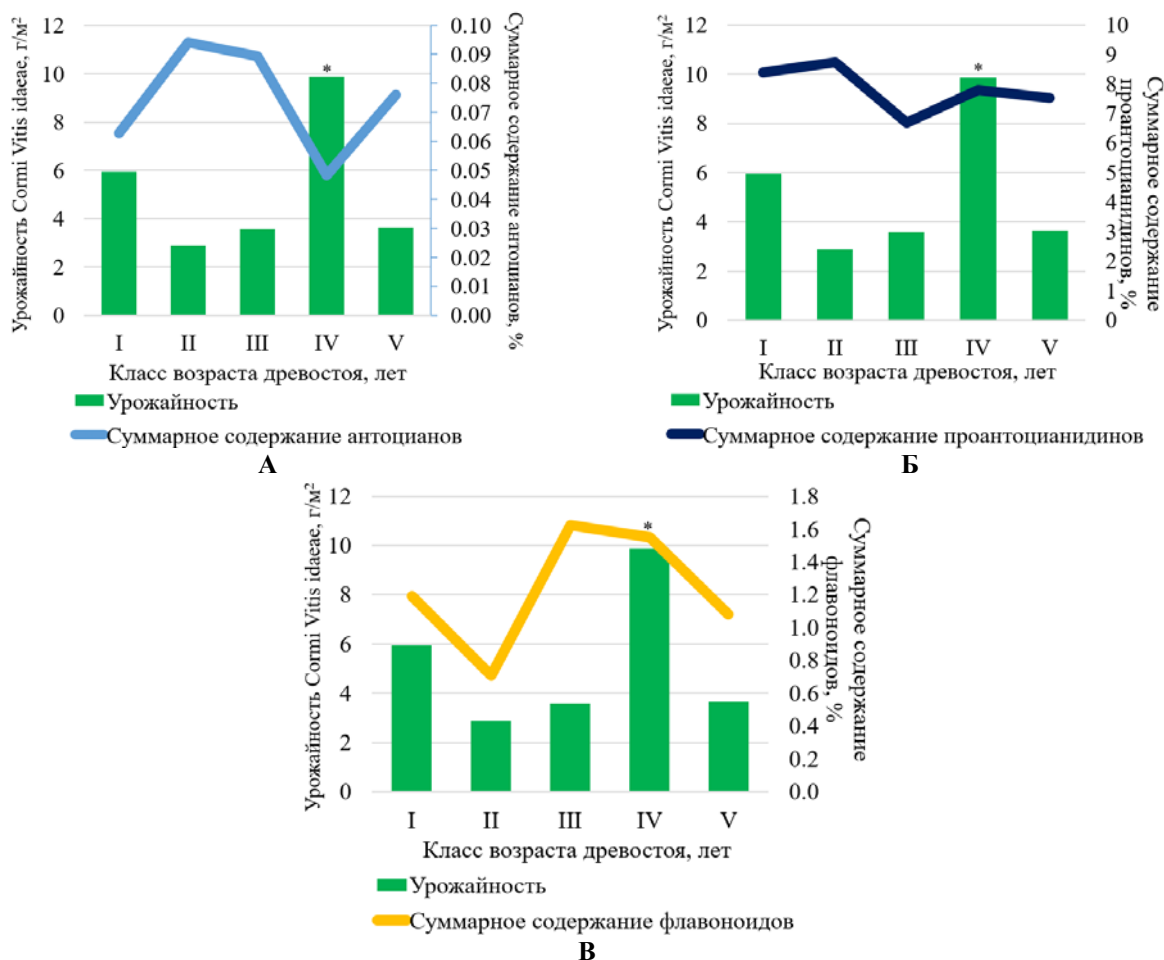
Примечание: ПП – пробная площадь; КВ; В – квартал; выдел; S – площадь выдела; V – встречаемость на пробной площади; \* – воздушно-сухие Cormi Vitis idaeae; ЭЗ – эксплуатационный запас; ОЕЗ – объем ежегодной заготовки; M±m – среднее значение параметра±ошибка среднего значения параметров; C<sub>v</sub> – коэффициент вариабельности, %

Фитохимическая характеристика Folia Vitis idaeae (листья *V. vitis-idaea*) в I–V возраста древостоя сосняка мшистого изменяется в следующих диапазонах: суммарное содержание антоцианов 0,05–0,09 %, проантоцианидинов 7,54–8,74 %, флавоноидов 0,71–1,62 %. Корреляционный анализ Спирмена между фитохимическими характеристиками лекарственного сырья и экологическими факторами в изученных фитоценозах достоверную линейную зависимость не выявил ( $p > 0,05$ ). При объединении данных с пробных площадей по классам возраста древостоя отмечена отрицательная линейная корреляция между суммарным содержанием проантоцианидинов и сквозистостью ( $r_s = -0,90$ ,  $p < 0,05$ ), а также и кислотностью почвы ( $r_s = -0,90$ ,  $p < 0,05$ ).

Ресурсно-фитохимический оптимум заготовки Cormi Vitis idaeae (относительно высокая урожайность *V. vitis-idaea* при относительно высоком содержании биологически активных веществ в Folia Vitis idaeae) отмечен нами в приспевающих сообществах (рисунок).

Таким образом, относительно оптимальными условиями (высокая урожайность и содержание БАВ) для заготовки Cormi Vitis idaeae являются приспевающие сосняки

мшистые. Данная закономерность является устойчивой для сосняков мшистых Гродненской пуши и отмечена нами в течение трех полевых сезонов [9, 10].



Примечание: \* – ресурсно-фитохимический оптимум

**Рисунок 1 – Ресурсно-фитохимический оптимум заготовки *V. vitis-idaea* в культурах сосняков мшистых (*Pinetum pleurozium*)**

#### Список литературы

1. Биохимические методы анализа растений / Под ред. М. Н. За-прометова. – Москва: Издательство иностранной литературы, 1960. – 592 с.
2. Буданцев, А. Л. Ресурсоведение лекарственных растений: Методическое пособие к производственной практике для студентов фармацевтического факультета / А. Л. Буданцев, Н. П. Харитоновна. – СПб: Изд-во СПХФА, 1999. – 87 с.
3. Государственная фармакопея Республики Беларусь. Общие и частные фармакопейные статьи. Разработана на основе Европейской Фармакопеи / Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Республиканское унитарное предприятие «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении». – Том II. – Минск, 2007. – 471 с.
4. Егоров, А. А. Ботаническое ресурсоведение: классификация и оценка запасов полезных растений: учеб.-метод. пособие / А. А. Егоров, О. В. Созинов, Г. Н. Бузук, Д. Г. Груммо – СПб: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2023. – 100 с.
5. Егоров, А. А. Ботаническое ресурсоведение: методические указания для студентов направления подготовки 35.03.01 «Лесное дело» / А. А. Егоров. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 36 с
6. Лесной кодекс Республики Беларусь. – Минск, 2024. – С. 81.
7. Морозов, О. В. Брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) сосновых лесов Беларуси / О. В. Морозов, под ред. Ж. А. Рупасовой. – Минск: Право и экономика, 2006. – 114 с.
8. Садковская, А. И. Изменчивость ресурсно-ценотических параметров *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) на возрастном градиенте культур сосняка мшистого (*Pinetum pleurozium*) / А. И. Садковская, О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2025. – Том 61. – Вып. 2. – С. 65–80.

9. Садковская, А. И. Ресурсно-фитохимический оптимум заготовки лекарственного сырья *Vaccinium vitis-idaea* в разновозрастных сосняках мшистых гродненской пуши / А. И. Садковская, О. В. Созинов // Актуальные проблемы экологии : сб. науч. ст. / Гродн. гос. ун-т им. Янки Купалы ; редкол.: И. Б. Заводник (гл. ред.), А. Е. Каревский, О. В. Павлова. – Гродно: ГрГУ, 2020. – с. 11–13.

10. Садковская, А. И. Ресурсно-фитохимический оптимум заготовки *Cornus vitis idaeae* в разновозрастных естественных и искусственных сосняках мшистых / А. И. Садковская // XVI Машеровские чтения: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 21 октября 2022 г. : в 2 т. / Витеб. гос. ун-т ; редкол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2022. – Т. 1. – С. 125–127.

11. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. – Gottingen. – 1991. – 282 s.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОПЫТНЫХ НА СОСТОЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ОХОТНИЧЬЕМ ВОЛЬЕРЕ ПАШУКОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ГПУ НП «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»**

Самусенко В. А.

Государственное природоохранное учреждение «Национальный парк «Беловежская пуца», аг. Каменюки,  
Республика Беларусь  
e-mail: nauka@nrbp.by

*Проведена оценка структуры и состояния подроста и подлеска в охотничьем вольере Пашуковского лесничества Национального парка "Беловежская пуца". Установлена тенденция изменения состояния подроста и подлеска в вольере и за его пределами.*

**Введение.** Копытные животные, в зависимости от плотности их населения, могут оказывать как положительное, так и негативное влияние на состояние лесных экосистем. На ограниченной площади охотничьих вольеров высокая численность копытных может приводить к сильному угнетению основных кормовых растений, снижению продуктивности многих древесно-кустарниковых пород, выпадению из состава фитоценозов подроста и подлеска.

Охотничий вольер «Пашуки» расположен в Пашуковском лесничестве ГПУ НП «Беловежская пуца». Основными направлениями деятельности данного вольера являются: содержание, разведение и комплексное использование диких копытных животных в охотничьих, научных, селекционных и других целях, в том числе проведения вольерной охоты. Общая площадь вольера составляет 2194,7 га, из них площадь лесных угодий – 1434,0 га, или 65,3 % от общей площади вольера, полевых – 746,0 га, или 34 % от общей площади вольера, водно-болотных – 14,7 га, или 0,7 % от общей площади вольера [1].

Вольер разделен на две зоны (западная – огорожена сетчатым забором, восточная – огорожена бетонным забором). В восточной части преобладают высоковозрастные коренные широколиственные и сосновые леса возрастом старше 200 лет. В западной части преобладают производные лесные экосистемы на осушенных землях, занимающие около 30 % площади этой части вольера. Остальная территория занята биотехническими полями.

**Материалы и методы.** Оценка состояния подроста и подлеска проводилась на временных пунктах учета (ВПУ), систематически расположенных внутри вольера и за его пределами на расстоянии до 1 км. ВПУ закладывались по сетке с шагом 250 м ориентированной с севера на юг (рис. 1). Всего заложено 283 ВПУ, из которых 154 расположено в границах бетонного забора, 37 – в границах сетчатого забора и 92 – за пределами вольера. Такое расположение объектов позволило провести сравнительный анализ состояния подроста и подлеска во всех трех зонах в разрезе типов леса. Меньшее количество пробных площадей внутри сетчатого забора объясняется небольшой площадью в структуре лесных насаждений.

Каждая ВПУ представляет собой линейную пробную площадь (трансект) размером 100 м<sup>2</sup> (2×50 м). В натуре положение каждой ВПУ определялось с использованием GPS с точностью до 10 м.

На каждой пробной площади выполнен сплошной учет подроста и подлеска с распределением по породам, группам высот (0,2-1,0 м; 1,1-1,5 м; 1,6-2,0 м и более 2,0 м) группам повреждения (1 – здоровые, 2 – слабоповрежденные (повреждено до 30 % кроны), 3 – среднеповрежденные (повреждены до 60 % кроны, верхушка, кора), 4 – сильноповрежденные (повреждено более 60 % кроны), 5 – усохшие).

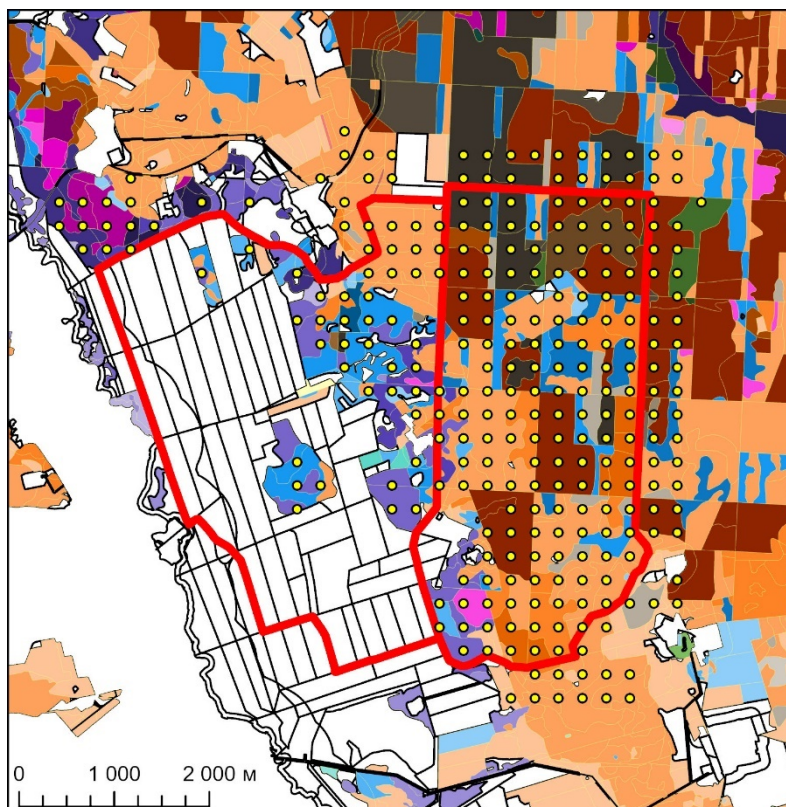


Рисунок 1 – Расположение временных пунктов учета

Современная численность и половозрастная структура копытных животных представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Численность и половозрастная структура диких копытных животных на 2024 год

| Вид животного     | Всего, особей | Возрастная структура, особей |           |           | В том числе взрослых |       |
|-------------------|---------------|------------------------------|-----------|-----------|----------------------|-------|
|                   |               | взрослые                     | годовалые | сеголетки | самцы                | самки |
| Лань европейская  | 216           | 130                          | 45        | 41        | 53                   | 77    |
| Олень благородный | 396           | 263                          | 59        | 74        | 89                   | 174   |
| Косуля            | 10            | 6                            | 3         | 1         | 3                    | 6     |

Результаты исследований. На территории вольера, огражденного бетонным забором, сосновые насаждения представлены сосняками мшистыми, орляковыми и кисличными различного возраста (от 15 до 215 лет). Подрост представлен на 68 % пробных площадей и включает главным образом дуб, граб, осину и ель численностью от 100 до 1500 шт./га. Средний балл состояния 3,4, что характеризует его как значительно поврежденный. Подлесок представлен крушиной ломкой, лещиной, можжевельником и бересклетом от 100 до 2500 шт./га и баллом состояния 2,6 (среднеповрежденный).

Еловые насаждения включают ельники кисличные и единично орляковые и черничные возрастом от 90 до 130 лет. Подрост имеется в наличии на 80 % пробных площадей и включает главным образом березу, граб, осину и ель количеством от 100 до 1500 шт./га и баллом состояния 2,1. Подлесок на данных участках не встречался.

Дубравы, в основном кисличные от 65 до 215 лет, в которых только на 71% пробных площадей имеется подрост граба и редко ели и осины в количестве от 100 до 3000 шт./га и состоянием 2,8. Подлесок не встречается, кроме одной пробной площади в количестве 100 шт./га в сильноповрежденном состоянии. Небольшое количество подроста и подлеска связано с наличием второго яруса из граба.

Черноольшанники, главным образом, кисличные (от 40 до 85 лет), примыкают к осушенной пойме р. Лесная. Встречается подрост осины, ольхи черной и вяза в незначительном количестве (100–1300 шт./га) и баллом состояния 3,1. В подлеске редко присутствует крушина ломкая и лещина состоянием 3,2.

Березовые насаждения представлены кисличной, орляковой, крапивной и мшистой сериями типов леса возрастом от 15 до 75 лет. В подросте произрастает граб и редко ель, дуб, береза и осина в среднем 400 шт./га и баллом состояния 3,2. Подлесок встречался только на одной площади и представлен крушиной ломкой и смородиной в количестве 300 шт./га. Балл состояния – 3,0.

Также в вольере имеется один выдел древостоя осины, в котором отсутствует как подрост, так и подлесок.

В целом внутри бетонного забора балл состояния подроста и подлеска составляет 2,9, т. е. они относятся к среднеповрежденным. Подрост встречался на 55 % пробных площадей, а подлесок на 25%. Среднее количество подроста – 600 шт./га, а подлеска – 400 шт./га. Состав и структура насаждений, отсутствие на ВПУ подроста сосны, позволяет говорить о возможной будущей смене сосновых насаждений с формированием дубрав, ельников, грабняков и осинников.

На территории, огражденной сетчатым забором больше половины площади занято биотехническими полями, расположенными в осушенной пойме р. Лесная. Среди лесных насаждений преобладают сосняки – 35 %, березняки – 22 % и черноольшанники – 22 %, встречаются ельники – 16 % и дубравы – 5 %.

Сосновые насаждения представлены мшистой, орляковой и кисличной сериями типов леса. Возраст насаждений от 10 до 85 лет. В подросте дуб, ель, граб и береза (300–4000 шт./га), и баллом состояния – 3,1. В подлеске крушина ломкая и лещина от 100 до 13400 шт./га и баллом состояния – 3,2

Еловые насаждения практически все относятся к кисличной серии типов леса с подростом осины, дуба черешчатого и ольхи черной. Количество подроста 100–1500 шт./га, балл состояния – 2,6. Подлесок довольно разнообразный: лещина, крушина, черемуха, бересклет, смородина в среднем 2700 шт./га и баллом состояния 2,6.

В дубравах кисличных на данной территории подрост представлен осиной, дубом и грабом. Балл состояния – 2,7. Среднее количество подроста – 800 шт./га. В подлеске встречается крушина ломкая, рябина, бересклет и черемуха. Балл состояния – 1,7. Среднее количество подлеска – 2000 шт./га

В березняках орляковых, крапивных и кисличных присутствует подрост дуба, ясеня, ели, граба или осины, имеющий в среднем балл состояния 3,8. В подлеске крушина, лещина, ива и черная смородина (балл состояния – 2,1).

В черноольшанниках крапивных (возраст от 10 до 70 лет) отмечен подрост ясеня, ольхи черной, клена и вяза средним количеством 1000 шт./га и баллом состояния 2,5. В подлеске: крушина, лещина, смородина, черемуха, бузина и ива в среднем 3000 шт./га и баллом состояния – 3,8.

В целом для вольера в границах сетчатого ограждения отмечена меньшая степень повреждения подлеска (2,7) по сравнению с вольером, огороженным бетонным забором. Встречаемость подроста и подлеска значительно выше, чем в вольере, огороженном бетонным забором (95 % в обоих случаях). Среднее количество подроста – 2100 шт./га, а подлеска – 3100 шт./га.

На ВПУ, обследованными за пределами вольера, фитоценозы в типологическом отношении представлены аналогичными огороженным. Сосняки (мшистой, кисличной, черничной и орляковой серий типов леса) имеют возраст от 30 до 215 лет. Подрост включает дуб, граб, клен, ель, березу и осину в среднем 2700 шт./га и баллом состояния – 1,6. Подлесок (до 1900 шт./га) состоит из крушины, лещины, можжевельника, бересклета, калины,

включает также на отдельных участках иргу и волчегородник обыкновенный. Средний балл состояния подлеска – 1,6.

Ельники крапивные и кисличные (возраст 60–100 лет) характеризуются присутствием в подросте ели, дуба и ольхи черной в количестве 300–1100 шт./га и баллом состояния – 1,8. Подлесок встречался на одной пробной площади в количестве 7600 шт./га и оценен баллом состояния – 2,9. Он был представлен крушиной ломкой, лещиной, смородиной и калиной.

В дубравах кисличных почти на всех пробных площадях присутствует подрост граба, клена, осины или березы со средним баллом состояния 1,1. Подрост дуба отсутствует. В подлеске, главным образом, лещина с баллом состояния 1,2.

В березняках кисличных и крапивных в подросте отмечены клен, ель, осина и граб (количество – 1140 шт./га, балл состояния – 2,7). В подлеске лещина, крушина, бересклет и смородина (количество – 400 шт./га, балл состояния – 1,2).

В черноольшанниках практически нет подроста, только на отдельных участках встречается редкий, среднеповрежденный подрост клена и ольхи черной (балл состояния – 2,1). Подлесок в черноольшанниках по видовому составу такой же, как и в березняках (балл состояния – 2,0).

В осинниках кисличных в подросте на отдельных участках клен, граб и осина в хорошем состоянии (1,3). Подлесок встречался на одной пробной площади и представлен лещиной в хорошем состоянии (1,0).

В целом по данным учетов на ВПУ за пределами вольера средний балл состояния подроста – 1,8, а подлеска – 1,7. Встречаемость подроста и подлеска значительно выше, чем в вольере (93 % и 67 % соответственно). Также подрост и подлесок представлены более высокой численностью (3000 шт./га и 1200 шт./га соответственно).

Максимальное количество подроста наблюдается в сосняках кисличном и мшистом за пределами ограждения. Состояние подроста наихудшее внутри сетчатого забора в березняке снытевом (4,5) и наилучшее в осиннике кисличном (1,0) за пределами ограждения.

Выводы. В ходе проведенных исследований на территории охотничьего вольера Пашуковского лесничества и прилегающей территории установлено, что внутри бетонного забора подрост и подлесок относятся к категории «сильно- и среднеповрежденный», внутри сетчатого забора – к «среднеповрежденным», за пределами вольера – «слабоповрежденный». В разрезе типов леса тенденция ухудшения состояния подроста и подлеска сохраняется по градиенту «за пределами вольера – сетчатое ограждение – бетонное ограждение». В границах бетонного и сетчатого заборов подрост отсутствует в 43 % насаждений, в то время как за пределами вольера – только в 22 %. В настоящее время независимо от типа леса, состояние (поврежденность) подроста и подлеска в границах бетонного забора вольера неудовлетворительное, что не позволит в ближайшей перспективе обеспечить естественную смену пород в случае распада или ухудшения состояния материнских древостоев.

#### Список литературы

1. Изучение влияния функционирования охотничьего вольера в Пашуковском лесничестве и разработка рекомендаций по оптимизации его дальнейшего использования: отчет о НИР (заключ.) / НП Бел. пуша : рук. В. В. Тетерёнок. – Каменюки, 2024. – 56 с. – № ГР 20241562.

## ФИТОФТОРОЗЫ ОЛЬХИ В БЕЛАРУСИ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ИХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ

Сандрыгайло А. В., Звягинцев В. Б., Иващенко Л. О.

УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: zviagintsev@belstu.by

В докладе приводится значимость изучения фитофторозов древесных растений, описывается разнообразие фитопатогенной микобиоты в пораженных тканях, представляющей опасность для древесных растений. Обсуждаются методы диагностики возбудителей фитофторы и результаты их проведения в условиях Беларуси.

*Phytophthora* de Bary 1876 – группа микроскопических грибковых патогенов, относящихся к классу оомицетов, вызывающих заболевания растений во многих частях мира. В пределах рода известно более 80 видов, некоторые считаются возбудителями корневых гнилей [7]. До конца XX века они мало влияли на европейские леса и рассматривались в основном как проблема для декоративных растений и молодых деревьев в питомниках.

Многие виды фитофторы являются патогенами сельскохозяйственных культур, имеющих большое экономическое значение. *P. infestans* (Mont.) de Bary вызвал Великий голод в Ирландии и до сих пор остается разрушительным видом [3]. Существуют специфичные виды, поражая только один вид растения-хозяина (*P. fragariae* Hickman, *P. quercina* (Willd.) Hale), и неспецифичные виды, способные паразитировать на нескольких хозяевах (*P. cinnamoni* Rands, *P. cactorum* Lebert., *P. citricola* T. Jung) [6].

Одним из специфичных видов является возбудитель фитофтороза ольхи *P. alni* Brasier et S.A.Kirk, впервые выявленный в Великобритании в 1993 году [7] и диагностированный в Беларуси в 2015 году [1,2]. Симптомы поражения во всех случаях одинаковы: низкий прирост деревьев, пожелтение листьев и их преждевременный опад, бурые пятна на коре ствола, свидетельствующие о поражении сосудистой системы, появление экссудата.

*P. alni* – наиболее специализированный и агрессивный патоген ольхи, однако он не один способен поражать данную породу. Среди выделенных организмов встречаются также *P. plurivora*, *P. cactorum*, *P. gonapodyides* и др. [5]. При выделении из образцов некротизированной ткани ствола было замечено повторное заселение сапрофитных организмов в ослабленные участки ствола, что затрудняет процесс выведения истинного паразита в чистую культуру.

Процесс изучения разнообразия грибных организмов в пораженных фитофторозом тканях невозможен без проведения методов диагностики, таких как визуальный осмотр пораженной части ствола, применение биоприманок, выделение на питательную среду, микроскопирование и ПЦР-анализ полученных чистых культур.

В докладе обсуждаются результаты комплексного анализа состава специализированных патогенов ольхи на основе использования метода приманок (использование листьев ольхи в качестве ловушки для поимки оомицетов в воде), чистых культур (выращивание на селективных средах с антибиотиками) и молекулярно-генетических методов (проведение секвенирующей реакции по Сэнгеру [4]).

### Список литературы

1. Звягинцев, В. Б. Продвижение инвазии оомицета *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk на восток – первая находка патогена в Беларуси / В. Б. Звягинцев, О. Ю. Баранов, С. В. Пантелеев // Защита лесов от вредителей и болезней: научные основы, материалы, методы: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Иркутск, 2015. – С. 102–104.
2. Звягинцев, В. Б. и др. Оценка рисков биологических инвазий дендропатогенных организмов на территории Беларуси, пути их прогнозирования и контроля. – 2024.
3. Иванюк, В. Г. Фитофтороз картофеля и пути снижения его вредоносности / В. Г. Иванюк // Защита и карантин растений. – 2009. – №. 5. – С. 52–55.

4. Падутов, В. Е. Методы молекулярно-генетического анализа / В. Е. Падутов, О. Ю. Баранов, Е. В. Воропаев. – Минск: Юнипол, 2007. – 176 с.
5. Bregant, C. Diversity and pathogenicity of Phytophthora species associated with declining alder trees in Italy and description of *Phytophthora alpina* sp. Nov / Bregant C. [et al.] // *Forests*. – 2020. – Т. 11. – №. 8. – С. 848.
6. Jung, T. Canker and decline diseases caused by soil-and airborne *Phytophthora* species in forests and woodlands / T. Jung [et al.] // *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. – 2018. – Т. 40. – №. 1. – С. 182-220.
7. Webber, J. F. Global pathways for tree pathogens: the challenges of *Phytophthora* species as invasive threats / J. F. Webber, C. M. Brasier // *Proceedings of the BCPC International Congress–Crop Science and Technology 2005*. – 2005. – Т. 2. – С. 741-748.

## ОЦЕНКА АНТАГОНИСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ САПРОТРОФНОЙ МИКОБИОТЫ ЛИСТОВОГО ОПАДА ЯСЕНЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИНВАЗИВНОМУ ПАТОГЕНУ *HYMENOSCYPHYS FRAXINEUS*

Тарлецкий Е. В., Иващенко Л. О., Звягинцев В. Б.

УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: root@belstu.by

В исследовании изучались штаммы *Hymenoscyphus fraxineus* из тканей ясеня и их взаимодействие с 10 сапротрофами в двойных культурах. Средняя скорость роста *H. fraxineus* составила 0,27 см/сут, значительно ниже, чем у сапротрофов (0,63 см/сут). Наиболее активно росли *Trichoderma hamatum* и *Trichoderma* sp. (1,30 см/сут и 1,23 см/сут соответственно). Наблюдались различные типы взаимодействий, включая лизис и зоны ингибирования, что делает виды рода *Trichoderma* перспективными для биоконтроля благодаря высокой скорости роста и лизису колонии фитопатогена.

Введение. Изменение климата в наше время в разной степени влияет на различные сферы хозяйственной деятельности, и прежде всего растениеводство. Изменение температуры и количества атмосферных осадков – это стресс для растений, ослабляющий его защитные системы и привлекающий вредителей.

Пример негативного влияния изменения климата на древесные породы – волны усыхания ели. Снижение количества атмосферных осадков приводит к нарушению капиллярного тока воды в древесине. Ослабленные деревья заселяются стволовыми вредителями что приводит к образованию их очагов.

Изменение климата как само по себе, так и косвенно через ослабление растения-хозяина создает благоприятные условия для развития вредителей и возбудителей болезней растений. Это может приводить к эпифитотиям таким как массовое усыхание ясеня в Европе.

Некроз ветвей ясеня – болезнь, которая привела к массовому усыханию ясеневых насаждений на территории Европы. Болезнь поражает главным образом ясеня обыкновенный и ясеня узколистный. Впервые патология была идентифицирована на северо-востоке Польши в 1992 году, но о симптомах сообщалась еще до этого предположительно с 1960-х. Возбудитель был впервые выделен 2006 году [1]. Ему было присвоено название *Chalara fraxinea* (анаморфа гриба), современное название *Hymenoscyphus fraxineus* (телеоморфа). Болезнь распространяется концентрически со скоростью примерно от 30–70 до 100 и более км/год [2, 3].

*H. fraxineus* – инвазивный аскомицет естественный ареал которого расположен в Восточной Азии. Там он является безвредным сапротрофом на листовом опаде *F. mandchurica*. В Европу он попал скорее всего вместе с посадочным материалом маньчжурского ясеня [4].

Из-за низкой устойчивости европейских ясеней вредоносность новой болезни оказалась чрезмерно высокой. Повсеместно отмечается деградация ясеневых насаждений и снижение их доли в лесном покрове. Например, в Беларуси менее чем за два десятилетия погибло более половины ясеневых лесов [5]. В Республике первые симптомы болезни были замечены 2003, а возбудитель был идентифицирован в 2010 году методом ПЦР [4].

Пораженные патогеном листья опадают, а на их черешках сложных листьев (рахисах) формируются черные псевдосклеротические пластинки. С их помощью патоген переживает негативное воздействие внешних факторов. Стадия полового размножения инвазивного гриба *H. fraxineus* проходит в лесной подстилке на остатках прошлогодних листьев [6].

В настоящее время эффективных мер защиты ясеня не разработано, однако считается, что наиболее перспективны исследования в области селекции ясеня на устойчивость и поиск методов биологического контроля.

Биологический метод защиты растений – это система защитных и профилактических мероприятий с использованием полезных организмов (агентов биоконтроля) и веществ ими

продуцируемых, решение о применении которых зависит от результатов фитопатологического мониторинга и прогнозов вредоносности болезней и вредителей [7].

В западноевропейских странах изучались состав и сукцессии микобиоты на рахисах ясеня обыкновенного для поиска возможности биологического контроля усыхания ясеня с помощью сапротрофных грибов, заселяющих рахисы [6, 8]. Целью данной работы было изучение аборигенной сапротрофной микобиоты листового опада ясеня с целью поиска потенциального агента биологического контроля инвазивного патогена *H. fraxineus* и испытание в двойных культурах со штаммами патогена.

Материалы и методы исследования. Материал для получения мицелия сапротрофных грибов заселяющих черешки ясеня и штаммов *H. fraxineus* был собран в дендрарии БГТУ и лесах Негорельского и Минского лесхоза. Это черешки ясеня обыкновенного и его побеги, пораженные некрозами.

Черешки ясеня обыкновенного и ясеня маньчжурского были внешне продезинфицированы раствором этилового спирта и промыты в проточной воде. После этого они были помещены во влажную камеру до момента наблюдения активного роста мицелия через микроскоп. Затем методом штриха, стерильной иглой, фрагменты мицелия с черешков были перенесены на питательную среду с последующим выделением видов в чистые культуры.

Штаммы *H. fraxineus* были получены перенесением тканей побегов ясеня обыкновенного в местах некроза непосредственно на среду, с последующим выделением видов *Neurospora* в чистые культуры.

В итоге выделено и использовано для создания двойных культур 10 видов-сапротрофов и 3 штамма *H. fraxineus*. Двойные культуры и контроль для измерения скорости роста ставились на мальт-экстракт агаре в трех повторностях. Из-за известной низкой скорости роста *H. fraxineus* на искусственных питательных средах при проведении опыта двойных культур пересадку видов-сапротрофов проводили спустя 7 дней после штаммов фитопатогенов.

Результаты и обсуждение. По результатам опыта двойных культур были измерены размеры колоний видов-сапротрофов и штаммов *H. fraxineus* в пределах чашки Петри на твердой питательной среде. Также были индивидуально измерены скорости роста в контрольных чашках Петри и типы взаимодействия организмов в двойных культурах. В результате наблюдений можно сделать вывод о значительно более сниженной скорости роста *H. fraxineus* по сравнению со всеми сапротрофами, упомянутыми в опыте. Средняя скорость роста всех выделенных сапротрофов в двойных культурах со штаммами фитопатогена составила 0,63 см/сут. соответственно. Средняя скорость штаммов *H. fraxineus* в двойных культурах 0,27 см/сут. Выделились виды *Trichoderma hamatum* и *Trichoderma* sp. со скоростями 1,30 см/сут. и 1,23 см/сут.

При перенесении мицелия видов-сапротрофов на питательную среду часто замечалось большое количество тел мертвых микроскопических нематод одной частью тела находившиеся в субстрате, а другой вне его. Скорее всего они были вытеснены и в итоге погибли из-за суммарного воздействия растущих грибов.

В ходе опыта по созданию двойных культур проявлялись различные типы взаимодействия между организмами:

- Лизис колонии-конкурента
- Соприкосновение колоний без образования выраженной зоны ингибирования
- Образование выраженной зоны ингибирования.

Лизис соседствующей колонии наблюдался только для двух видов рода *Trichoderma*. Для других видов наблюдалось плотное соприкосновение колоний либо образование зоны ингибирования различных размеров. Для 2 из 3 штаммов *H. fraxineus* наблюдалась крупная зона ингибирования в двойных культурах, но низкая скорость роста, для 3-го же ситуация ровно противоположная.

Идентификация чистых культур производилась методом секвенирования по Сэнгеру на генетическом анализаторе НАНОФОР 05 (Синтол, РФ). Интерпретация получаемых данных выполнялась с использованием программного обеспечения Sequencing Analysis Software v.6.0 (Applied Biosystems, США). Структура секвенированных ампликонов была проанализирована с помощью программы BLAST в NCBI GenBank.

В итоге видовую принадлежность удалось для 7 из десяти видов-сапротрофов, для 3 из них установлена только родовая принадлежность это: *T. hamatum*, *Trichoderma* sp., *Xylaria* sp., *Marasmius epiphyllus*, *Fusarium graminearum*, *Mycena olivaceomarginata*, *Umbelopsis sinsidoensis*, *Diplodia mutila*, *Alternaria* sp., *Colletotrichum truncatum*. Некоторые из видов (*D. mutila*, *Alternaria* sp., *C. truncatum*, *F. graminearum*) по данным литературных источников являются патогенными для различных культурных и диких хозяйственно ценных растений, поэтому не рекомендуются как агенты биоконтроля возбудителя усыхания ясеня. Остальные же относятся к почвенным обитателям, заселяющим листовым опад или мертвую древесину. Сообщается что *M. olivaceimarginata* образует микоризные ассоциации с видами *Orchideacea* [9].

В целом наиболее быстрорастущими и эффективными в противодействии патогену оказались 2 вида рода *Trichoderma*. Их активный рост многочисленные бесполое спороношения и комплекс ферментов, позволяют относительно просто их культивировать и использовать в целях биоконтроля возбудителей болезней растений. Так же, согласно литературным источникам, организмы этого рода выделяют биологически активные вещества, стимулирующие устойчивость растений.

#### Список литературы

1. Kowalski, T. *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland // *Forest Pathology*. – 2006. – № 36. – P. 264–270.
2. An overview of ash (*Fraxinus* 68 spp.) and the ash dieback disease in Europe / R. Enderle, J. Stenlid, R. Vasaitis // *CABI Reviews*. – 2019, - Vol. 14, №025. – P. 1–12.
3. Распространение инвазивного возбудителя некроза ветвей ясеня аскомицета *Hymenoscyphus fraxineus* в европейской части России / В. Б. Звягинцев, Д. А. Демидко, С. В. Пантелеев [и др.] // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. – 2023. – № 244. – С. 88–117.
4. Ярук, А. В. Распространенность халарового... / А. В. Ярук, В. Б. Звягинцев // *Труды БГТУ. Лесное хозяйство*. – 2015. – №1. – С. 207–210.
5. О разработке программы защиты и восстановления ясеневых лесов Беларуси / В. Б. Звягинцев, А. В. Ярук, З. И. Кривицкая [и др.] // *Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти ОА Катаева)*. – 2020. – С. 164–165.
6. Kowalski, T. Fungi detected in the previous year's leaf petioles of *Fraxinus excelsior*... / T. Kowalski, P. Bilański // *Forests*. – 2021. – №12(10).
7. O'Brien, P. A. Biological control of plant diseases / P. A. O'Brien // *Australasian Plant Pathol.* – 2017. – №46. – P. 293–304.
8. Bilański, P. Fungal endophytes in *Fraxinus excelsior* petioles ... / P. Bilański, T. Kowalski // *Microbiological Research*. – 2022. – Vol. 257.
9. Gams, W. Morphology and identification of *Trichoderma* / C. P. Kubicek, G. E. Harman (eds.). – Taylor & Francis, 1998. – Vol. 1. – P. 18.

## МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЕ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Третьякова Е. С., Сидорова О. В.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская  
Федерация

e-mail: Tretiakova.Katua@yandex.ru; o.v.sidorova@narfu.ru

*Исследована погодичная динамика морфолого-физиологические параметров хвои сосны обыкновенной, произрастающей в сосняках лишайниковых и на верховых сфагновых болотах в подзоне северной тайги Европейской части России. Установлено, что в изученных сосняках лишайниковых морфолого-физиологические показатели хвои закономерно изменяются с увеличением ее возраста. Показатели длины, массы хвои и содержание фотосинтетических пигментов возрастают, обводненность хвои снижается. В болотных сообществах для изученных параметров отмечены флуктуации, обусловленные погодными условиями вегетационного сезона, а также гидрологическими условиями болотных участков.*

Ассимиляционный аппарат древесных растений – наиболее чувствительная система растений, отражающая условия их произрастания [1; 3–5].

Целью данной работы является изучение морфолого-физиологических параметров хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных типах фитоценозов в окрестностях месторождения алмазов имени М. В. Ломоносова в Архангельской области (РФ).

Район проведения исследований расположен в подзоне северной тайги, леса которой выполняют важнейшие климатозащитные и средообразующие функции. Преобладающие в ландшафте лесные и болотные экосистемы характеризуются высокой уязвимостью по отношению к антропогенному воздействию. На покрытой лесом площади наиболее широко (50 %) распространены лишайниковые, брусничные и черничные типы лесов, приуроченные к повышенным дренированным участкам рельефа, более 30 % составляют временно переувлажненные черничные влажные и долгомошные леса, которые занимают ровные или слегка повышенные плато с затрудненным дренажем. Избыточно увлажненные (травяно-сфагновые и сфагновые) леса распространены на 5 % покрытой лесом площади. Значительные площади в окрестностях месторождения занимают сфагновые олиготрофные (верховые) болота.

В летний период 2024 г. был собран растительный материал (системы побегов с хвоей) сосны обыкновенной в сосняках лишайниковых и на сфагновых болотах в пределах 15 стационарных пробных площадей экологического мониторинга. Образцы брали из средней части кроны с пяти-шести деревьев. Затем проводили измерения морфометрических показателей: продолжительность жизни хвои, число пар хвоинок на ауксибластах, длина и масса хвои (одно-, дву-, трехлетней). В лабораторных условиях определяли содержание воды весовым методом при высушивании до абсолютно сухого состояния. Содержание пигментов определяли спектрофотометрически (прибор Unico-2800) в ацетоновой вытяжке по оптической плотности при длинах волн 662 нм и 644 нм (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды). Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных методов и компьютерных программ.

Ассимиляционный аппарат древесных растений очень чувствительная система, морфологические показатели которого отражают непосредственную зависимость от условий произрастания, что показано в таблице 1 результате статистической обработки данных связей между болотными и лесными сообществами не выявлено ( $p > 0,05$ ). Развитие лесных и болотных сообществ не зависит друг от друга, что означает наличие иного фактора, влияющего на рост растений.

Таблица 1 – Морфолого-физиологические показатели хвои сосны обыкновенной

| Морфо-физиологические показатели               | Сосняки лишайниковые |               |      | Болота сфагновые |               |      |
|------------------------------------------------|----------------------|---------------|------|------------------|---------------|------|
|                                                | X±m                  | min-max       | V, % | X±m              | min-max       | V, % |
| <i>Длина хвои, см</i>                          |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 3,26 ± 0,06          | 1,80 – 4,80   | 21,7 | 3,13 ± 0,06      | 1,80 – 6,00   | 23,5 |
| 2-летняя                                       | 3,55 ± 0,04          | 2,70 – 4,60   | 11,5 | 2,71 ± 0,04      | 1,90 – 4,30   | 18,4 |
| 3-летняя                                       | 4,17 ± 0,06          | 3,10 – 5,80   | 14,8 | 3,15 ± 0,05      | 2,00 – 4,50   | 17,5 |
| <i>Масса хвои, г</i>                           |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 0,45 ± 0,04          | 0,27 – 0,80   | 30,2 | 0,42 ± 0,06      | 0,25 – 1,10   | 53,8 |
| 2-летняя                                       | 0,50 ± 0,03          | 0,31 – 0,73   | 24,3 | 0,34 ± 0,04      | 0,19 – 0,72   | 40,0 |
| 3-летняя                                       | 0,62 ± 0,04          | 0,38 – 0,88   | 25,6 | 0,44 ± 0,04      | 0,25 – 0,70   | 33,3 |
| <i>Содержание воды в хвое, %</i>               |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 61,9 ± 0,97          | 51,4 – 66,2   | 5,9  | 59,5 ± 1,09      | 52,8 – 65,7   | 6,9  |
| 2-летняя                                       | 55,0 ± 0,60          | 51,2 – 59,7   | 4,1  | 50,8 ± 1,09      | 43,2 – 55,8   | 8,1  |
| 3-летняя                                       | 53,2 ± 0,84          | 43,3 – 56,1   | 5,9  | 49,2 ± 0,80      | 45,0 – 54,2   | 6,1  |
| <i>Содержание мг/г сыр. массы хл а</i>         |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 0,631±0,05           | 0,331-0,950   | 31,2 | 0,517 ± 0,03     | 0,214 - 0,782 | 30,7 |
| 2-летняя                                       | 0,686±0,02           | 0,444 - 0,815 | 16,1 | 0,589 ± 0,03     | 0,335 - 0,912 | 22,8 |
| 3-летняя                                       | 0,717±0,04           | 0,410 - 0,900 | 20,8 | 0,589 ± 0,03     | 0,372 - 0,877 | 25,3 |
| <i>Содержание мг/г сыр. массы хл б</i>         |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 0,207±0,02           | 0,006 - 0,304 | 51,2 | 0,183 ± 0,01     | 0,051 - 0,281 | 36,9 |
| 2-летняя                                       | 0,207±0,02           | 0,045 - 0,304 | 34,3 | 0,160 ± 0,01     | 0,076 - 0,293 | 34,3 |
| 3-летняя                                       | 0,227±0,02           | 0,033 - 0,314 | 34,9 | 0,198 ± 0,02     | 0,091 - 0,442 | 45,9 |
| <i>Содержание мг/г сыр. массы каротиноидов</i> |                      |               |      |                  |               |      |
| 1-летняя                                       | 0,175±0,01           | 0,121 - 0,248 | 23,6 | 0,151 ± 0,01     | 0,083 - 0,226 | 24,0 |
| 2-летняя                                       | 0,190±0,01           | 0,142 - 0,218 | 14,4 | 0,182 ± 0,01     | 0,139 - 0,251 | 18,5 |
| 3-летняя                                       | 0,197±0,01           | 0,144 - 0,226 | 14,6 | 0,178 ± 0,01     | 0,128 - 0,253 | 20,5 |

Примечание: X±m – среднее значение признака и ошибка среднего значения, min-max – минимальное и максимальное значения признака, V, % – коэффициент вариации признака.

Длина хвои в сосняках лишайниковых возрастает с увеличением ее возраста. Так, в лесных сообществах длина 1-летней – 3,26 см, 2-летней – 3,55 см, 3-летней хвои – 4,17 см. Наиболее стабильным данный показатель является для хвои второго года развития (коэффициент вариации V=11,5 %), наиболее изменчивым – для хвои первого года (V=21,7 %). В условиях болотных сообществ длина хвои меньше, чем в лесных: 3-летней – на 24,5 %, 2-летней – на 23,7 %, 3-летней – на 23,7 %. При этом наибольшая длина отмечена для 3-летней, а наименьшая – для 2-летней хвои. Наибольшая изменчивость данного признака характерна для 1-летней хвои (V=23,5 %), наименьшая – для 3-летней хвои (V=17,5 %).

Масса хвои закономерно возрастает с увеличением ее возраста в сосняках лишайниковых, при этом наибольшая изменчивость данного показателя характерна для первого года развития (V=34,2 %). В сравнении с болотными сообществами, масса 1-летней хвои больше лишь на 4,4 %, 2-летней – на 32 %, 3-летней – на 29 %. В болотных условиях показатель массы хвои, как и ее длина, были минимальны для второго года жизни.

Содержание воды в хвое сосняков лишайниковых больше, чем болотных сообществах: в 3-летней хвое – на 7,5 %, 2-летней – на 7,6 %, 3-летней – на 3,8 %. С увеличением возраста хвои ее обводненность закономерно уменьшается как в лесных, так и болотных сообществах (индекс изменчивости низкий и варьирует в лесах – от 4,1 % до 5,9 %, на болотах – от 6,1 % до 8,1 %). В сосняках лишайниковых содержание воды в хвое снижается на 11 % в 2-летней по сравнению с 1-летней, на 3,2 % в 3-летней по сравнению с 2-летней, в болотных сообществах – на 14 % в 2-летней по сравнению с 1-летней, на 3,1 % в 3-летней по сравнению с 2-летней. Это обусловлено адаптациями к неблагоприятным зимним условиям (формирование ксероморфных структур, выведение «свободной» воды из клеток).

Продолжительность хвои в изученных сосняках лишайниковых варьирует от 2 до 6 лет, в среднем она составляет 4 года, на болотах – от 2 до 4 лет, в среднем – 3 года.

Наименьшие морфометрические показатели хвои (длина и масса) второго года жизни болот сфагновых, вероятно, обусловлены менее благоприятными погодными условиями вегетационного периода 2023 г.

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое (хлорофиллов *a*, *b*, каротиноидов) в условиях сосняков лишайниковых выше, чем на болотах сфагновых.

Наибольшую долю в пигментном комплексе в лесных и болотных сообществах составляет хлорофилл *a*, в то время как доли в сырой массе хлорофилла *b* и каротиноидов примерно одинаковые. Хлорофилл *a* является важнейшим пигментом, которому принадлежит главная роль в ходе фотосинтеза. Содержание хлорофилла *a* в хвое закономерно увеличивается с увеличением ее возраста. В хвое первого года жизни в условиях сосняков лишайниковых содержится 0,631 мг/г, в 2-летней хвое – 0,686 мг/г, в 3-летней – 0,717 мг/г. В условиях болот сфагновых содержание хлорофилла *a* в 1-летней хвое меньше, чем в лесу, на 18,0 %, 2-летней – на 14,1 %, у 3-летней – на 17,9 %.

Содержание хлорофилла *b* в пигментном комплексе ниже примерно в три раза по сравнению с хлорофиллом *a*. В условиях лесных сообществ содержание хлорофилла *b* в 1-летней и 2-летней хвое составляет 0,207 мг/г, в 3-летней 0,227 мг/г. В условиях болот содержание хлорофилла *b* меньше: в 1-летней на 11,6 %, в 2-летней на 22,7 %, в 3-летней на 12,8 %, чем в лесу.

Содержание каротиноидов с возрастом хвои постепенно увеличивается, что связано с их защитными функциями в светособирающем комплексе и его приспособлениями к условиям среды. В сосняках лишайниковых в 1-летней хвое содержится 0,175 мг/г желто-оранжевых пигментов, в 2-летней – 0,190 мг/г, в 3-летней – 0,197 мг/г. В условиях же болотных сообществ наименьшим значением характеризуется хвоя первого года жизни, а наибольшим – второго года жизни. Несмотря на это, содержание каротиноидов в условиях болот меньше, чем в лесных: в 1-летней на 13,7 %, в 2-летней всего на 4,2 %, в 3-летней на 9,6 %.

Анализ данных среднемесячных температур и количества осадков, показал, что вегетационный период 2023 г. характеризуется наименьшими среднемесячными температурами, а также низким количеством выпавших осадков. Данные факторы могли повлиять на снижение температуры верхних «активных» горизонтов торфяного субстрата и его влажности, что привело к уменьшению морфометрических показателей хвои.

Таким образом, в изученных сосняках лишайниковых морфолого-физиологические показатели хвои (длина, масса, содержание воды) сосны обыкновенной закономерно изменяются с увеличением ее возраста. Так, показатели длины, массы хвои и содержание фотосинтетических пигментов возрастают, обводненность хвои – снижается. В болотных сообществах для изученных параметров отмечены флуктуации, обусловленные погодными условиями вегетационного сезона, а также гидрологическими условиями болотных участков.

#### Список литературы

1. Дубровина, О. А. Эколого-биологические особенности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения : автореф. дисс. ... канд. биол. наук : 1.5.15 / Дубровина Ольга Алексеевна ; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук. Владимир, 2021. – 24 с.
2. Погода и климат [Электронный ресурс] : [официальный сайт] / Спр.-инф. порт. – Электрон. дан. – Справочно-информационный портал, 2022–2024.
3. Рысин, Л. П. Сосна обыкновенная / Л. П. Рысин // Биологическая флора Московской области / Под ред. Т. А. Работнова. – Вып. 14. – Т. 5. – М., Изд-во «Гриф и К», 2000. – С. 4–44.
4. Адаптивная реакция сосны обыкновенной на негативное воздействие абиотических факторов в ризосфере / Н. Е. Судачкова, И. Л. Милютин, Л. И. Романова // Экология. – 2009. – № 6. – С. 411–416.
5. Хох, А. Н. Сравнительная оценка анатомо-метрических параметров хвои сосны обыкновенной в разных типах леса / А. Н. Хох, В. Л. Шалабода // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель, 2019. – № 6 (117). – С. 85–90.

## РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ПИОНЕРНЫМИ МХАМИ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Хайретдинова В. О., Величко Н. В., Кушневская Е. В., Смирнова Е. В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
e-mail: leraox@gmail.com

*Цианобактерии, ассоциированные со мхами, обеспечивают большую часть поступления азота в растительные сообщества таежных экосистем, а также в пионерные растительные группировки, заселяющие минеральные субстраты. В работе впервые показано, что на 6 видах пионерных мхов, собранных на обнажениях минеральной породы в Ленинградской области, обнаружены разные морфотипы цианобактерий, среди которых доминируют гетероцитные формы рода Nostoc. Полученные нами данные планируется в дальнейшем использовать для изучения влияния цианобактерий на рост и продуктивность мхов.*

Азот в доступных для растений формах является важным лимитирующим фактором продуктивности таежных лесов. Большая доля поступления азота в лесные экосистемы обеспечивается азотфиксирующими цианобактериями, населяющими поверхность побегов мхов, доминирующих в напочвенном покрове (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) [5]. Дيازотрофия, осуществляемая гетероцитными цианобактериями, может являться основным источником азота для ассоциированных с ними мхов в пионерных растительных группировках на минеральном субстрате [1]. Подходящей моделью для изучения ранних стадий сукцессии являются сообщества вертикальных обнажений минеральной породы, где пионерные стадии, представленные биокорками с доминированием мохообразных, задерживается во времени из-за повторяющихся нарушений. Видовые особенности и экосистемная роль мохово-цианобактериальных симбиотических ассоциаций в подобных пионерных сообществах требуют дальнейшего изучения.

Симбиотические ассоциации мохообразных с цианобактериями достаточно широко распространены и описаны для 110 видов мохообразных, принадлежащих 50 родам из 41 семейства, с которыми ассоциированы более 26 видов цианобактерий из 17 родов и 9 семейств [8]. Экспериментально показано благоприятное влияние эпифитных цианобактерий на рост мхов, в частности, на *Sphagnum riparium* [3]. Также есть данные о том, что мхи способны выделять аттрактанты, привлекающие цианобактерии [2], и вступать с ними в тесные метаболические связи [7]. В настоящий момент, подобные исследования ограничиваются небольшим числом модельных видов (*P. schreberi*, *H. splendens*, *Sphagnum* spp. и др.) – доминантов бореальных и болотных сообществ [7].

Целью данной работы является изучение распространенности и видового разнообразия мохово-цианобактериальных ассоциаций в пионерных растительных группировках на обнажениях минеральных пород в Ленинградской области.

В 2023-2024 гг. в рамках эксперимента Смирновой Е. В. и Кушневской Е. В. по изучению роли мохообразных в биологическом выветривании минеральных пород, мхи 6 видов (*Leptobryum pyriforme*, *Tortula lingulata*, *Amblystegium serpens*, *Anomodon longifolius*, *Dicranella subulata*, *Pohlia annotina*) выращивались в лабораторных условиях в течение года на 6 различных минеральных субстратах (известняк, кварцевый песчаник, оболовый песчаник, глауконитовый песчаник, сланец, глина). Посадочный материал мхов был собран на вертикальных обнажениях известняка, а также красного и белого песчаников в долинах рек в Ленинградской области. В процессе моделирования условий первичного заселения мхами различных минеральных субстратов, предварительно стерилизованные в течение 24 ч при 105°C субстраты заселяли измельченными побегами мхов и в течение года проводили наблюдения. В ходе проведенного эксперимента на большей части лабораторных образцов образовались колонии цианобактерий и зеленых микроводорослей, которые были обнаружены как на побегах, так и на поверхности субстрата, т. е. занесены с посадочным

материалом. Для выделения изолятов цианобактерий сначала были получены накопительные культуры с помощью стандартных методов микробиологической техники культивирования окислительных фототрофов (рост на жидкой минеральной среде BG11 при постоянном освещении 1500 lx, 25°C в присутствии циклогексимида (в концентрации 100 мкг/мл) и карбендазима (в концентрации 0,005 мкг/мл)) [6]. Затем, путем последовательных пересевов на 1 % агаризованной среде BG11, цианобактерии были очищены от сопутствующих эукариотических микроводорослей, микромицетов и большей части гетеротрофных бактерий и, таким образом, выделены в альгологически чистые культуры. С помощью методов световой микроскопии были описаны основные морфотипы цианобактерий (Leica DFC450). ДНК цианобактерий выделяли с помощью набора HiPure Soil DNA Kits (MAGEN, Китай) согласно протоколу фирмы-производителя. Амплификацию фрагментов генов 16S рРНК цианобактерий проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с применением универсальных эубактериальных 27F/1492R праймеров в готовой реакционной смеси ScreenMix-HS (Евроген, Россия) с помощью термоциклера T100 (BioRad). При этом температура денатурации ДНК составляла +95°C (40 с), отжига праймеров +55°C (35 с) и элонгации +72°C (40–90 с). Амплифицированные фрагменты разделяли электрофоретически в 1%-ном агарозном геле в трис-боратном буфере с 0,001%-ным бромистым этидием при постоянном напряжении 80 В. Затем полученные ампликоны гена 16S рРНК секвенировали методом Сэнгера с помощью капиллярного электрофореза на анализаторе ABI Prism 310 (Applied Biosystems) согласно протоколам фирмы-производителя на базе РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

Цианобактерии выделили с побегов каждого вида мха, выросших на всех перечисленных субстратах. Нами показано, что на изученных образцах присутствуют *Desmonostoc muscorum*, *Nostoc commune*, а также виды, близкие к цианобионтным формам. Морфотипы цианобактерий и предварительные результаты молекулярно-генетического анализа приведены на Рисунке 1 и в Таблице 1.

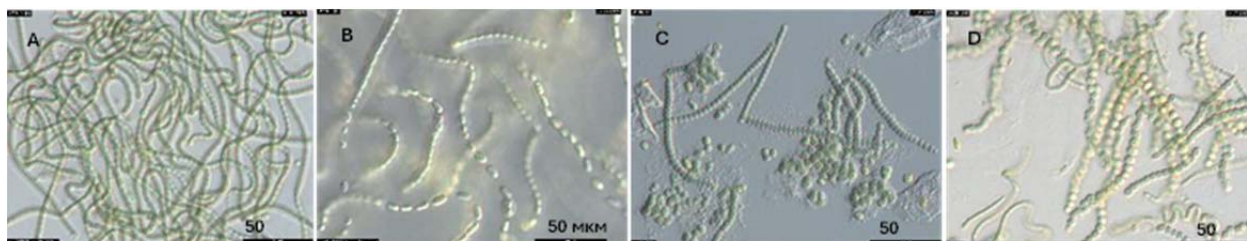


Рисунок 1 – Морфотипы цианобактерий, выделенных из моховых ассоциаций

Таблица 1 - Результаты идентификации цианобактерий, выделенных из моховых ассоциаций

| Штамм цианобактерий | Вид мха                     | Субстрат  | Морфотип | Ближайшая последовательность гена 16S рРНК культивируемого штамма (% выравнивания, % идентичности; nBLAST) |
|---------------------|-----------------------------|-----------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 153M                | <i>Leptobryum pyriforme</i> | сланец    | A        | <i>Desmonostoc muscorum</i> SAG 57.79 KM019934.1 (98%, 97,31%)                                             |
| 311M                | <i>Amblystegium serpens</i> | известняк | B        | <i>Nostoc commune</i> SIK85 clone 1 MZ677351 (99%, 96,75%)                                                 |
| 313P                | <i>Amblystegium serpens</i> | известняк | C        | <i>Nostoc</i> sp. ' <i>Peltigera neopolydactyla</i> UK60 cyanobiont' KF359717.1 (99%, 98,10%)              |

|      |                             |                       |   |                                                                   |
|------|-----------------------------|-----------------------|---|-------------------------------------------------------------------|
| 421M | <i>Anomodon longifolius</i> | кварцевый<br>песчаник | A | <i>Desmonostoc muscorum</i> SAG 57.79<br>KM019934.1 (97%, 98,34%) |
| 552P | <i>Dicranella subulata</i>  | сланец                | D | <i>Desmonostoc muscorum</i> SAG 57.79<br>KM019934.1 (98%, 92,58%) |
| 552M | <i>Dicranella subulata</i>  | сланец                | A | <i>Desmonostoc muscorum</i> SAG 57.79<br>KM019934.1 (98%, 97,25%) |
| 621M | <i>Pohlia annotina</i>      | кварцевый<br>песчаник | A | <i>Desmonostoc muscorum</i> SAG 57.79<br>KM019934.1 (98%, 99,57%) |

Таким образом, нами показано присутствие представителей нескольких таксонов цианобактерий на всех 6 изученных пионерных видах мхов, в том числе занесенном в Красные Книги РФ и Европы *Tortula lingulata* [4; 9]. Результаты молекулярно-генетического анализа согласуются с наблюдаемой морфологией (Рисунок 1, Таблица 1). Для обнаруженных видов цианобактерий известно вступление в симбиотические ассоциации с мохообразными [8], тогда как для изученных видов мхов данные об ассоциированных цианобактериях не были найдены в литературе, и, возможно, получены впервые.

Благодарю сотрудников Ресурсных Центров Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» за помощь в проведении молекулярно-генетических исследований. Для выделения изолятов цианобактерий работа проводилась на базе оборудования РЦ «Культивирование микроорганизмов».

#### Список литературы

1. Bryophyte-cyanobacteria associations during primary succession in recently deglaciated areas of Tierra del Fuego (Chile) / M. Arroniz-Crespo, S. Perez-Ortega, A. De los Rios [et al.] // PLoS ONE – 2014. – Vol. 9(5). – P. e96081. doi:10.1371/journal.pone.0096081
2. Bay, G. Boreal feather mosses secrete chemical signals to gain nitrogen / G. Bay [et al.] // New Phytologist. – 2013. – T. 200. – №. 1. – С. 54-60.
3. Transfer of fixed-N from N 2-fixing cyanobacteria associated with the moss *Sphagnum riparium* results in enhanced growth of the moss / A. Berg, Å. Danielsson, B. H. Svensson // Plant and soil. – 2013. – T. 362. – С. 271-278.
4. Hodgetts N. et al. A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts. – International Union for Conservation of Nature, 2023.
5. Moss-cyanobacteria associations as biogenic sources of nitrogen in boreal forest ecosystems / K. Rousk, D. L. Jones, T. H. Deluca // Front Microbiol. – 2013. – Vol. 17 (4). – P.150. doi: 10.3389/fmicb.2013.00150.
6. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales) / R. Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire // Bacteriol. Rev. – 1971. – Vol. 35. – P. 171–205.
7. Stuart, R. K. Bidirectional C and N transfer and a potential role for sulfur in an epiphytic diazotrophic mutualism / R. K. Stuart [et al.] // The ISME journal. – 2020. – Vol. 14, №. 12. – P. 3068-3078.
8. Wu, J. et al. Review of diversity and nitrogen fixation potential of bryophyte-cyanobacteria associations / J. Wu [et al.] // Biodiversity Science. – 2023. – Vol. 31, №. 8. – P. 23081.
9. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.] ; ответственный редактор: доктор биол. наук Д. В. Гельтман. — 2-е офиц. изд. — Москва : ВНИИ «Экология», 2024. — 944 с. : ил., цв. ил., табл., портр., карты.

ПРИДОРОЖНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ С ДОМИНИРОВАНИЕМ  
*PLANTAGO CORONOPUS* L.

Шавалда Е. С.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: shavalda@bk.ru

Изучен состав и структура растительности полосы отвода на участке автодороги М1/Е30 Брест – Минск. Отмечены сообщества с доминированием подорожника оленерогого (*Plantago coronopus* L.) на участках исследования придорожных территорий в Березовском районе Брестской области, их видовой состав, синтаксономическая структура, фитоценотические и экологические особенности в условиях специфики антропогенного воздействия и конструкции полосы отвода.

Введение. На территории Беларуси вне частного разведения достоверно отмечено 6 видов рода *Plantago* L. – *P. arenaria* Waldst. et Kit., *P. lanceolata* L., *P. major* L., *P. media* L., *P. urvillei* Opiz., а также отмеченный в 2024–2025 гг. на территории Брестской и Гродненской областей *P. coronopus* L. [1]. Вид типичен в Европе, на севере Африки и юго-западе Азии вдоль морского побережья на засоленных песчаных и песчано-гравийных почвах. С западных и северных регионов Европы в восточную часть вид распространяется с автодорожным транспортом, чему способствует также изменение климатических условий и активное использование противогололедных реагентов с NaCl.

Кроме солевого загрязнения придорожных почв на распространение *Plantago coronopus* L. вдоль автодорожной полосы отвода и разделительной полосы влияет комплекс негативных факторов, формирующих узкую экологическую нишу: загрязнение продуктами сгорания топлива, тяжелыми металлами, изнашивающимися элементами конструкции автомобиля и дорожного покрытия, эрозия почв, деградация примыкающей растительности, климатические изменения и локальные подходы в уходе придорожных территорий (кошение, реконструкция и ремонт автодорог, использование почвогрунтов, травосмесей и др.).

Материалы и методы. Изучение растительных сообществ полосы отвода с доминированием *Plantago coronopus* L. проводилось в июле 2025 г. на участке магистрали М1/Е30 Брест – Минск (протяженность около 320 км) с оценкой растительного покрова каждые 20 км (16 участков). Названия видов приведены по Определителю высших растений Беларуси, Флоре Беларуси (2004–2023 гг.) и Н.Н.Цвелеву. Классификация растительности выполнена методом Ж.Браун-Бланке. Синэкологические оптимумы синтаксонов рассчитаны по фитоиндикативным шкалам Х. Элленберга. Определение роли экологических факторов в дифференциации синтаксонов проводилось методом многомерного шкалирования (DCA-ординация) с коррекцией (Detrending) в программе Past 4.11 [3].

Результаты исследования. На участках вдоль магистрали М1/Е30 в пределах полосы отвода и разделительной полосы сообщества с доминированием *Plantago coronopus* L. были отмечены на территории Березовского района. При этом не исключено наличие вида на других участках, незатронутых исследованием. Синтаксономическая структура сообществ представлена в продромусе ниже и в таблице 1; эколого-фитоценотические особенности при сравнении сообществ между собой и ранее отмеченной асс. *Lolietum perennis* Gams 1927 [4] по трофности и кислотности (pH) почв – рисунок 1.

Класс *Molinio-Arrhenatheretea* Tx. 1937Порядок *Arrhenatheretalia* R. Tx. 1931Союз *Cynosurion cristati* Tx. 1947Асс. *Lolietum perennis* Gams 1927Вар.: *Plantago coronopus*Класс *Polygono-Poetea annuae* Rivas-Martínez 1975Сооб. *Plantago coronopus* [*Polygono-Poetea annuae*]

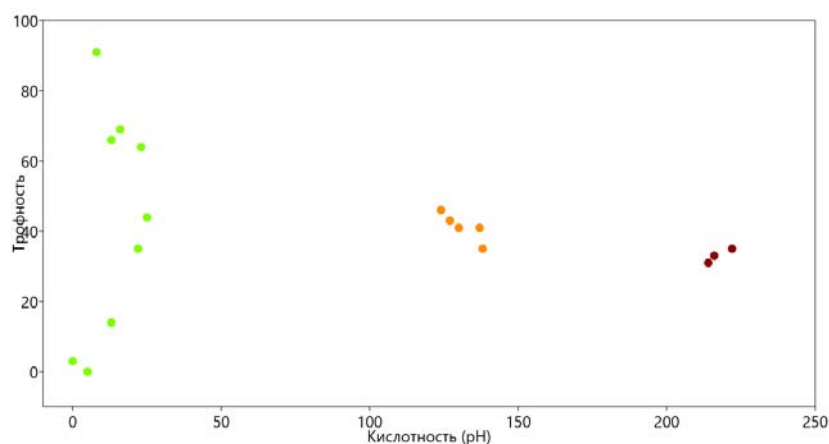
Таблица 1 – Синоптическая таблица сообществ с доминированием *Plantago coronopus* L.

|                                                                                                | Асс. <i>Lolietum perennis</i> Gams 1927 var. <i>Plantago coronopus</i> |     |     |     |     | Сооб. <i>Plantago coronopus</i> |     |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|-----|-----|
| ОПП, %                                                                                         | 80                                                                     | 80  | 80  | 85  | 70  | 75                              | 80  | 75  |
| Средняя высота травостоя, см                                                                   | 10                                                                     | 10  | 15  | 10  | 5   | 8                               | 5   | 8   |
| Число видов                                                                                    | 33                                                                     | 33  | 30  | 35  | 33  | 20                              | 17  | 17  |
| Номер описания                                                                                 | 1                                                                      | 2   | 3   | 4   | 5   | 6                               | 7   | 9   |
| <i>Lolium perenne</i>                                                                          | 35                                                                     | 30  | 30  | 20  | 40  | 5                               | 2   | 5   |
| <i>Plantago coronopus</i>                                                                      | 30                                                                     | 30  | 25  | 25  | 30  | 60                              | 65  | 65  |
| Д. в. порядка <i>Arrhenatheretalia</i> , союза <i>Cynosurion cristati</i>                      |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Leontodon autumnalis</i>                                                                    | 5                                                                      | 5   | 5   | 2   | 10  | 5                               | 10  | 5   |
| <i>Trifolium repens</i>                                                                        | 2                                                                      | 5   | 2   | 5   | 2   | .                               | .   | .   |
| <i>Poa pratensis</i>                                                                           | 5                                                                      | 2   | 5   | 5   | 2   | .                               | .   | .   |
| Д. в. порядка <i>Arrhenatheretalia</i> , союза <i>Arrhenatherion elatioris</i>                 |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Achillea millefolium</i>                                                                    | 2                                                                      | 5   | 5   | 2   | 1   | 0.5                             | 0.5 | 0.1 |
| <i>Festuca pratensis</i>                                                                       | 0.5                                                                    | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | .                               | .   | .   |
| <i>Trifolium pratense</i>                                                                      | .                                                                      | .   | 0.5 | .   | 0.1 | .                               | .   | .   |
| <i>Vicia cracca</i>                                                                            | .                                                                      | 0.1 | .   | .   | .   | .                               | .   | .   |
| Д. в. порядка <i>Potentillo-Polygonetalia avicularis</i> , союза <i>Potentillion anserinae</i> |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Elytrigia repens</i>                                                                        | 1                                                                      | 2   | 2   | 1   | 2   | 0.5                             | 0.5 | 1   |
| <i>Potentilla anserina</i>                                                                     | 0.5                                                                    | 1   | 1   | 1   | 5   | .                               | .   | .   |
| <i>Oxybasis glauca</i>                                                                         | 0.5                                                                    | 0.5 | 1   | 1   | 1   | .                               | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>                                                    |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Festuca rubra</i>                                                                           | 0.5                                                                    | 0.5 | 1   | 0.5 | 1   | .                               | .   | .   |
| <i>Rumex confertus</i>                                                                         | 0.1                                                                    | .   | .   | 0.1 | .   | .                               | .   | .   |
| <i>Lotus corniculatus</i>                                                                      | 0.5                                                                    | 0.5 | .   | .   | .   | 0.1                             | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Artemisietea vulgaris</i>                                                      |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Dactylis glomerata</i>                                                                      | 5                                                                      | 5   | 2   | 2   | 5   | .                               | .   | .   |
| <i>Artemisia vulgaris</i>                                                                      | 0.5                                                                    | 0.5 | .   | 0.1 | 0.5 | 0.5                             | 0.5 | 0.1 |
| <i>Linaria vulgaris</i>                                                                        | .                                                                      | 0.1 | .   | .   | .   | 0.1                             | .   | 0.1 |
| <i>Tussilago farfara</i>                                                                       | 0.5                                                                    | .   | .   | 0.5 | .   | .                               | .   | .   |
| <i>Cichorium intybus</i>                                                                       | .                                                                      | 0.1 | 0.1 | .   | .   | 0.1                             | 0.1 | .   |
| <i>Artemisia absinthium</i>                                                                    | 0.1                                                                    | .   | .   | .   | .   | .                               | 0.5 | .   |
| <i>Potentilla argentea</i>                                                                     | .                                                                      | .   | .   | .   | .   | 0.5                             | 0.1 | 0.5 |
| <i>Bromopsis inermis</i>                                                                       | .                                                                      | .   | 0.5 | 0.1 | .   | .                               | .   | .   |
| <i>Daucus carota</i>                                                                           | .                                                                      | .   | .   | .   | 0.1 | .                               | .   | .   |
| <i>Convolvulus arvensis</i>                                                                    | .                                                                      | .   | .   | 0.1 | 0.1 | .                               | .   | .   |
| <i>Calamagrostis epigeios</i>                                                                  | 0.5                                                                    | 1   | 1   | .   | 1   | .                               | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Sisymbrietea</i>                                                               |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Poa compressa</i>                                                                           | 1                                                                      | 2   | 5   | 2   | 2   | 0.5                             | 1   | 1   |
| <i>Sonchus arvensis</i>                                                                        | 0.1                                                                    | .   | 0.1 | 0.5 | 1   | .                               | .   | .   |
| <i>Chenopodium album</i>                                                                       | 0.5                                                                    | 0.5 | .   | 0.5 | 0.5 | 0.5                             | 0.1 | .   |
| <i>Conyza canadensis</i>                                                                       | 0.1                                                                    | 0.5 | .   | 0.5 | .   | .                               | 0.5 | .   |
| <i>Oxybasis glauca</i>                                                                         | .                                                                      | .   | .   | .   | .   | 1                               | 2   | 2   |
| <i>Cirsium arvense</i>                                                                         | .                                                                      | 0.1 | .   | 0.1 | 0.1 | .                               | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Papaveretea rhoeadis</i>                                                       |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Echinochloa crus-galli</i>                                                                  | 0.5                                                                    | .   | 1   | 1   | 0.5 | .                               | .   | .   |
| <i>Lactuca serriola</i>                                                                        | 1                                                                      | 1   | 0.5 | 1   | 1   | 0.1                             | .   | .   |
| <i>Setaria viridis</i>                                                                         | 1                                                                      | 1   | 2   | 1   | 1   | .                               | .   | .   |
| <i>Tripleurospermum inodorum</i>                                                               | .                                                                      | .   | .   | 0.5 | .   | 0.1                             | .   | 0.1 |
| <i>Trifolium campestre</i>                                                                     | .                                                                      | 0.5 | .   | .   | .   | .                               | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Koelerio-Corynepherea canescens</i>                                            |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Portulaca oleracea</i>                                                                      | 0.1                                                                    | 0.1 | .   | 0.1 | .   | .                               | .   | .   |
| <i>Trifolium arvense</i>                                                                       | .                                                                      | 0.5 | 0.5 | 1   | 0.5 | .                               | .   | .   |
| <i>Galium verum</i>                                                                            | .                                                                      | .   | 0.1 | .   | .   | .                               | .   | .   |
| Д. в. класса <i>Polygono-Poetea annuae</i>                                                     |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Taraxacum officinale</i>                                                                    | 10                                                                     | 5   | 15  | 10  | 15  | 2                               | 5   | 5   |
| <i>Plantago major</i>                                                                          | 5                                                                      | 10  | 5   | 5   | 10  | 1                               | 2   | 2   |
| <i>Polygonum aviculare</i>                                                                     | 1                                                                      | 0.5 | 0.5 | 1   | 2   | 0.5                             | 0.1 | 0.1 |
| <i>Poa annua</i>                                                                               | 1                                                                      | 1   | 0.5 | 2   | 0.5 | 0.5                             | 1   | 0.5 |
| Остальные виды                                                                                 |                                                                        |     |     |     |     |                                 |     |     |
| <i>Puccinellia distans</i>                                                                     | 15                                                                     | 10  | 10  | 15  | 5   | 5                               | 1   | 5   |
| <i>Brassica napus</i>                                                                          | 0.1                                                                    | .   | .   | 0.1 | 0.1 | .                               | .   | .   |
| <i>Festuca arundinacea</i>                                                                     | 0.5                                                                    | .   | 0.5 | 1   | .   | .                               | .   | .   |
| <i>Oberna behen</i>                                                                            | .                                                                      | .   | 0.1 | .   | 0.1 | .                               | .   | 0.1 |
| <i>Avena sativa</i>                                                                            | .                                                                      | .   | .   | .   | 0.1 | .                               | .   | .   |
| <i>Medicago sativa</i>                                                                         | .                                                                      | 0.1 | .   | .   | .   | .                               | .   | .   |

Сообщества асс. *Lolietum perennis* (вар. *typica* [4] и *Plantago coronopus*) встречаются в пределах участков полосы отвода, примыкающих к дорожному полотну и занимают территорию шириной около 1 метра, не распространяясь далее от дороги вследствие снижения общего антропогенного воздействия, большей ценотической замкнутости сообществ и возрастания межвидовой конкуренции с другими видами. Сообщества *Plantago*

*coronopus* встречаются исключительно в пределах разделительной полосы, где растительность подвержена наибольшему стрессу, в т. ч. высокому засолению почв.

Вероятно, засоление и эрозия придорожных почв являются основными факторами распространения *P. coronopus*. Так, с помощью фитоиндикативных шкал показано, что рост доминирования *P. coronopus*, а также снижение обилия и встречаемости остальных видов связаны с развитием эрозионных процессов и повышением pH почв – щелочная среда, вызванная избытком легкодоступных в почве солей для растений (рис. 1). Факторы увлажнения, освещенности и континентальности не учитывались вследствие широкой распространенности отмеченных видов и схожих условий произрастания для указанных территорий (участков полосы отвода). Отмечается следующее снижение обеспеченности азотом почв: асс. *Lolietum perennis* var. *typica* ( $6,7 \pm 0,08$ ) → асс. *Lolietum perennis* var. *P. coronopus* ( $5,6 \pm 0,03$ ) → сооб. *P. coronopus* ( $4,6 \pm 0,03$ ).



**Рисунок 1 – DCA-ординация придорожных сообществ с учетом трофности и кислотности (pH) почв:**

1 – асс. *Lolietum perennis* var. *typica* [4]; 2 – асс. *Lolietum perennis* var. *Plantago coronopus*;  
3 – сооб. *Plantago coronopus*.

Для отмеченных фитоценозов характерен вклад злака *Lolium perenne*, используемого в травосмесях и наиболее устойчивого к вытаптыванию и засолению из предлагаемых газонных трав (табл. 1). Верхний подъярус в асс. *Lolietum perennis* представлен: *P. coronopus*, *L. perenne*, *E. repens*, *D. glomerata*, *P. distans* и др. Подъярус низкорослых видов представлен: *P. pratensis*, *L. autumnalis*, *P. anserina*, *P. compressa*, *T. officinale*, *Pl. major* и др. Сообщества *P. coronopus* бедны ценофлорой, представляя один подъярус с доминированием *P. coronopus* и сопутствующими *L. perenne*, *L. autumnalis*, *P. compressa*, *O. glauca*, *P. distans* и др.

**Заключение.** Изменения климатических условий, рост негативного воздействия (в первую очередь использование ПГР), увеличение и развитие автотранспортных потоков способствуют распространению чужеродных видов и оказывают влияние на трансформацию придорожной растительности. Среди таких видов *Plantago coronopus*, чье распространение с юго-запада Беларуси на восток и север страны вызывает интерес и имеет опасность для региональных экосистем, что требует дальнейшего наблюдения.

*Благодарности.* Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант НАУКА М № Б25М-021 от 2 мая 2025 г.).

#### Список литературы

1. *Plantago coronopus* L. (Plantaginaceae Juss.) – новый адвентивный вид во флоре Беларуси / Н. А. Вахний, Д. В. Дубовик, В. Н. Лебедько, С. С. Савчук // Экологическая культура и охрана окружающей среды : IV Дорофеевские чтения : материалы международной научно-практической конференции, Витебск, 29 ноября 2024 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. – С. 127–129.

2. Миркин, Б. М. История и концептуальные установки классификации растительных сообществ с использованием подхода Браун-Бланке / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова // *Lethaea rossica*. – 2014. – Т. 9. – С. 21–34.
3. Сушко, Г. Г. Программное обеспечение PAST – как инструмент анализа данных в фаунистических исследованиях / Г. Г. Сушко // *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. – 2021. – № 3 (126). – С. 55–61.
4. Шавалда, Е. С. Синтаксономия придорожной растительности г. Минска и Минской области (Республика Беларусь) / Е. С. Шавалда, Я. М. Голованов // *Фиторазнообразие Восточной Европы*. – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 234–250.

## КОНСПЕКТ ВИДА *INULA GRANDIS* ВО ФЛОРЕ УЗБЕКИСТАНА

Эрматова Г. З.

Андижанский государственный университет, г. Андижан, Республика Узбекистан  
e-mail: gulzoda1712@mail.ru

*В данной статье приведена подробная информация о морфологии, экологических особенностях и ареале распространения вида *Inula grandis* Schrenk ex Fisch. & С.А.Мей. Распространение вида с ботанико-географической точки зрения показано по различным горным системам и регионам Узбекистана на основе гербарных данных гербария TASH и современных источников.*

Растение встречается на высотах от 550 до 2430 м на ландшафтах типа шибляк, арчевников, на каменистых и суглинистых почвах. Приведены морфологическая характеристика, таксономическое положение и синонимы вида. Данный вид распространён по всей Центральной Азии в Афганистане, Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркменистане и Узбекистане. На территории Узбекистана он отмечен в Ташкентской, Самаркандской, Джизакской, Сурхандарьинской, Кашкадарьинской, Ферганской, Андижанской и Наманганской областях.

***Inula grandis* Schrenk ex Fisch. & С.А.Мей. — Девясил крупнолистный — Katta andiz (Qora andiz).**

in Enum. Pl. Nov. 1: 50 (1841); Набиев в Опр. раст Ср. Аз. 10; 450 (1993).

**Tip:** Казахстан, г. Актау (рядом с г. Алма-Ата), 1839, Schrenk s.n. (Holotypus: LE – Komarov Botanical Institute Herbarium, Санкт-Петербург.)

≡ *Helenium grande* (Schrenk) Kuntze. General Pl. 1: 342 (1981).

≡ *Codonocephalum grande* O.Fedtsch. & B. Fedtsch. in Consp. Fl. Turkest. 4: 174 (1912).

≡ *Inula macrophylla* Kar. & Kir. In Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou 14: 438 (1841) [1;2].

**Морфологическая характеристика:** 50–120 см выс. Листья жесткие, кожистые, точечно железистые, иногда сильно волосистые, пахучие, по краю неясно выемчатые, зубчатые, с резкой сеткой жилок; прикорневые до 70 см дл., 20–30 см шир., широко эллиптические, острые, оттянутые в черешок, средние стеблевые сидячие, со стеблеобъемлющим сердцевидным основанием, в соцветии уменьшенные. Корзинки в густом широком щитке, 2–3 см в диам., сидят на длинных ножках. Листочки обертки ланцетные, ресничатые, густо железистые; наружные вытянуты в заострение, внутренние постепенно заостренные. Язычковые цветы оранжево-желтые, с отгибом до 2 см дл., узколинейным. Семянки только под хохолком немного пушистые, цилиндрические, слегка сплюснутые, с многочисленными продольными ребрышками, коричневатые, 3–5 мм дл., 1–1,5 мм шир. Хохолок из срастающихся при основании по 3 в пучки, в 2–3 раза превышающих семянку, коротко перистых, грязно-желетоватых волосков.

На мелкоземистых мягких склонах в нижнем и среднем поясе гор.

**IPNI ID:** 225901-1

**Фенология:** Цветет V–VII; плодоносит VII–VIII.

**Экология:** Предпочитает предгорные и среднегорные участки на мягких, каменистых и щебнистых почвах. Произрастает в кустарниковых сообществах, можжевельниковых лесах на высоте от 550 до 2430 м над уровнем моря.

**Общее распространение:** Афганистан, Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан [1;3;4;5;6;7;8]

**Местное распространение:** Ташкентская, Самаркандская, Джизакская, Сурхандарьинская, Кашкадарьинская, Ферганская, Андижанская, Наманганская области [3;4]

**Распространение в Узбекистане:**

**I-1 Запотно-Тяньшанский округ. I-1-а Угам-Пскемский район:** ХРЕБТЫ УГАМ. (р.Угама. Хумсана, 01.07.1922, Курбатов; окр. сел. Бурчмулла. Тохтор-сай, 21.10.1928,

Линчевский; р. Пскем. Верховья Тепар-сая, 17.08.1928, Култиасов 724; окр. Ташкент. гора Кынграк, 19.05.1926, Линчевский; к. Хумсан, Аркутсай, 26.06.1926, 21.06.1926, Райкова; р. Чоткол. Бурчмулла, 04.07.1928, Ватолкина 440; р. Пскем. Испай сая, 02.09.1928, Францевич 1511; горы Каржантау, 1937, Гуцин, Джанаева, Саранская, Цветков 819, 820, 822, 823; р. Чирчик, Ак-Таш, 02.06.1938, Ступин 30; д. Кок-Су Бурчмулла, 14.07.1952, Студенты 54; р. Пскем. Наная, 09.06.1956, Цукерваник 1007, 14.07.1956, Гранитов, 1017; р. Пскем. Ур. Кунч, 09.06.1956, Гранитов, 85; хр. Пскем. Нанай, 27.06.1966, Выборов 16; хр. Угамский Хумсан, 19.06.1971, Султанова, Набиев, Нафасов, Очилов, Абдукаримова, Назарова; хр. Кунгирбука, 2022 Г.З.Эрматова; р. Бостанлыкский 7.06.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, А0706/17; киш. Бурчмулла 4.06.2025 Г.З.Эрматова; Сиджак, 4.06.2025 Г.З.Эрматова; р. Угам. Хумсан 7.06.2025 Г.З.Эрматова). I-1-b **Западно-Чаткальский район**: ХРЕБТЫ ЧАТКАЛЬ. (окр. к. Учтерак. 26.05.2011 *Tulkin Tillaev* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); к. Чакчам. 12.06.2005, *Tulkin Tillaev* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); окр. к. Газалкент, 27.05.2012, *Газиев* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); окр. кишлака Учтерак. 05.06.2013, 04.06.2015, *Tulkin Tillaev* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); Чаткальского хр., окр. к. Кангли. 03.05.2014, 31.05.2014, *Tulkin Tillaev* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); Чаткальского хр, р. Ахангаран, урочище Каттасай, 07.06.2019, *Наталья Бешко* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)). I-1-d **Кураминский район**: ХРЕБТЫ КУРАМА (между Ёспенак-Кангли и Ак-чап Как-сай 14.06.1924, *Коровин* Ч160, Ч161, Ч162, Ч163, Ч164, Ч154, Ч156, Ч157, Ч158, Ч159; р. Ангрен. Окр. киш. Тилеу 01.08.1934, *Русанов*; р. Ангрен киш. Кульата, 13.05.1928, *Гранитов, Миронов* 140, 142; Средняя часть ущелья Саук-Булак, 19.06.1939 *Кудряшев* 150; Абемсай у брига. Племсовх. 28.09.1962 *Камалов* 422; Северный склон. Сай Куптуймас. Сев. Скл. Арчевник. 13.05.1940 *Усманов* 31; р. Ангрен. Янгаклык-сай. 25.06.1951, *Лавухина* 4; Р. Ангрен. Кичкина-Янголлык сай. 16.05.1952 *Родина* 14). I-1-e **Чоркесарский район** (Папский р-н. Окр. Чаркисара. 12.05.1950, *Бондаренко, Майлун*). I-1-f **Приташкетский район** (басс. р. Келес, ур. Капланбек. 08.06.1921, *Аболин*, 7645; сел. Капланбек Синяя гора, 15.06.1937, *Студенты*). I-2 **Ферганский округ**, I-2-а Южно-Чаткальский райони. (гора Унгар-Тюбе. Северные склоны Унгар-Тюбе, 07.07.1933, *Кудряшев, Красовский*, 123). I-3 **Фергано-Алайский округ**. I-3-b **Восточно-Алайский район**: ХРЕБТЫ АЛАЙ. (басс. р. Шахимардан, окр. сел. Ярдан. р. Ак-сув. 04.07.1961, *Студенты*, 01.07.1961, *Абдуллаев*, 37; Окр. к. Шахимардан, 12.07.1936, *Хржановский, Томилова*). I-5 **Кухистанский округ**. I-5-b **Мальгузарский район**: (Пишагар-сай, 16.07.2012, *Н.Ю.Бешко*; обл. Жиззах. 500м над Пешагором на склоне горы, 23.05.2024, *Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, А2305/10, А2305/11, А2305/12, А2305/14 А2305/15*; обл. Жиззах. Раввот, Олтиовуз 23.05.2025, *К.Рахматова*). I-5-c **Ургутский район**: ЗЕРАВШАНСКИЙ ХРЕБТЫ. (Аман-Кутан, 13.06.1954, *Пятаева*, 144; окр. Самарканда. Ачалыкские, 15.06.1937, *Изайкуллаева*; басс. р. Кашка-Дарья. По дороге из Акча-Буга в Тутлы, 02.07.1938, *Кудряшев, Сумневич* 646; Басс. Р. Кашка-Дарья. Долина реки Тарагай, сев, 17.06.1954, *Пятаева*, 582; окр. киш. Ак-сай, 30.06.1931, *Бутков*, 275; окр. сел. Ургут. Устье ущ. Таглык, 19.05.1936, *Гнездило*, 204; Окр. сел. Ургут. Гора Чахмалык, ущ. р. Айне-кор, 27.06.1936, *Гнездило*, 251; окр. с. Аман-Кутан, Булбузарсай, тау. 1982, *А.С.Юлдашев*; окр. киш. Кызылтурук сев, 30.05.2019, *У.Х.Кодиров*, 48; р. Кашкадарья выше киш. Хазрат-башир, 20.06.2018, *К.Ш.Тожибоев, Н.Ю.Бешко, У.Х.Кодиров*, 2018062052; горы. Акташ, Еттиуйлисай, 15.04.2018, *У.Х.Кодиров, Х.Журамурадов, Д.И.Махмуджанов, У064*; обл. Самаркандская окр. Терсак, 11.05.2022, *Vladimir Pankratov* ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); обл. Самаркандской. Граница Самарканда и Кашкадарья, 23.05.2022, *Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, В2305/5*). I-6 **Западно-гиссарский округ**. I-6-а **Кашкадарьинский район**: ГИССАРСКИЙ ХРЕБЕТ. (басс. р. Кашка-Дарья. окр. сел. Чильгаз, сел. Уда-Чарбак. р. Катта-Уру. 17.06.1954 *Пятаева* 434; горы Яккабага. от к. Уордан. 05.07.1927 *Култиасов, Гранитов* 1027, 1028; Между Яккабагом и Бова-Шоды. 12.06.1927 *Култиасов, Гранитов* 426, 469; Яккабаг: в горах против с. Бова-Шоды. 02.06.1916, *Попов, Г 1198, Г 1199*; р. Яккабаг-дарья. окр. к. Таш-Курган, 21.06.1936, *Бочанцев, Бутков* 142; р. Яккабаг-дарья. окр. к. Ташкурман. 10.07.1936, *Бочанцев, Бутков* 792; Гисс хребет, перевал на Ташкурман, 23.07.1988, *Попов,*

174; Басс. р. Кашка-Дарья. р. Яккабаг-Дарья. ур. Ишак-Майдан, 21.06.1931, Гранитов, 209, 210; Басс.р. Ак-Дарья. от сел. Таш-курган, 29.05.1941, Кошурникова 69; басс. р. Кашка-Дарья. Окр. сел. Гиссарак. р. Ак-су. 29.06.1956, Пятаева, Шоназаров, 417; басс. р. Кашка-Дарья. Гиссарский хребет. 01.07.1955, Смирнова; р. Ак-Дарья. от сел. Мераке, 30.05.1941, Кошурникова 91; басс. р. Кашка-Дарья. р. Танхоз-Дарья. Окр. сел. Хитой. 13.07.1955, Пятаева 1934; Китабский р-н. 08.05.2022, Tulkin Tillaev ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)); Китабская горная дорога М39, 2.06.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, А0206/10; Гиссарский, окр. с. Тутак-Ата, 10.06.2024, Достон Турдиев ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)). I-6-b **Таркапчигайский район:** ГИССАРСКИЙ ХРЕБЕТ. (г. Гузар. хр. Кара-Джалды. 07.05.1935, Гнездило 81; г. Гузара. горы Илик-Баш. Вершина. 29.05.1935, Кудряшев, 318; Басс. р. Кашка-Дарья. р. Кичик-Уру. окр. сел. Дехкан-Абад. 01.06.1954, Пятаева, Грингоф, Севиндилов 13; Дехконобод тум. Чашмаобзан киш, 24.05.2019, А.Абдураимов, 24052019015; Дехконобод тум. Галла киш, 20.05.2019, А.Абдураимов, 20052019048). I-6-c **Байсунский район.** ГИССАРСКИЙ ХРЕБЕТ (г. Байсун и Денау. Окр. Ходжа-Ипак, 19.05.1930 Бочанцев, Введенский 285; р. Ходжа-Ипак. 07.05.1941, Попова 426; Гисс. Байсунтау окр. к/к Дарбанд 29.05.2011, О.Т.Тургинов 299; Байсунтау басс. р. Мачай-дарья. окр. к/к Мачай, 16.05.2012, О.Т.Тургинов; г. Байсунтау. Долина реки Мачай. Окр. к/к Ю.мачай, 25.05.2019, С.О.Пұлатов, А.М.Жабборов 114; р. Байсун. Деревня Дуба, 30.05.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, Б.Азимов, А3005/9, А3005/10, А3005/99, В3005/119; р. Байсун. 30.05.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, Б.Азимов, В3005/1). I-6-d **Кугитангский район:** (сел. Кызыл-Алма, 03.05.1915, Попов 404; хр. Сусыз-Тау. Парч-Сая. от сел. Сайраб, 02.06.1957 Грингоф 3; сел. Кызыл-Алма. 05.05.1915, Попов 469; Ширабадский р-н. окр. сел. Вандоб. Джумаев; хр. Кугитанг, село Вандоб. 15.05.2022, Кайхон Атоев ([www.plantarium.ru](http://www.plantarium.ru)). I-7 **Гиссаро-Дарвазский округ.** I-7-а **Сангардак-Тупалангский район:** (Сары-Ассийский р. Близ киш. Хурбатана, 05.08.1931, Меркулович; басс. р. Тупаланг, Сары-Джоу. 02.05.1948, Чевренди 367; р. Сангардак и р. Хандиза, 30.05.1980, Набиев, Шерматов, Казакбаев, Левичев, 447; Басс. р. Сангардак, между к. Бахча и родн. Шаракат на склоне гор. 03.06.1948, Бондаренко 866; Басс. р. Туполанг. дол. р. Чаш. Выше к. Парх. Сухой сай, близ родника Хаузи-Мордон. 18.06.1948, Пятаева, 538; М39 Статуя Алпомиша 04.05.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, Б.Азимов, G2405/7, G2405/8, G2405/77, G2405/88; Деревня Пенджаб, 31.05.2024, Г.З.Эрматова, Б.Каримов, А.Рахматалиев, А3105/1). I-8 **Пянджский округ.** I-8-а **Бабатагский округ:**(хр. Бабатаг урочище Курусай на территории МЧЖ "Балх Сурхон Транс" нейтральная территория Таджикистан и Узбекистан, 23.05.2019, Н.Ю.Бешко, О.Т.Тургинов; хребет Бабатаг окр. Села Акмачит, 23.05.2020, С. Пулатов, И.Журамурадов, И.Жабборов, А.Рахматов, Д.Махмуджонов, 23052020439). Места хранения не указаны – TASH [9]. (Рисунок 1).

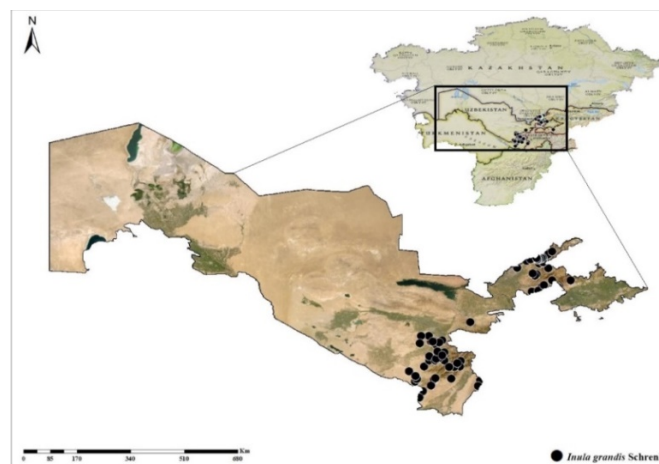


Рисунок 1 – Координатные точки распространения *Inula grandis* во флоре Узбекистана

**Список литературы**

1. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:329837-2>.
2. International Plants Names Index ([www.ipni.org](http://www.ipni.org)).
3. Набиев, Р. М. Род. *Inula* L // Определитель растений средней Азии. Т. X. –Т.: Фан, 1993. –С. 450–458.
4. Набиев, Р. М. Род. *Inula* L // Флора Узбекистана. Т. VI. –Т.: Фан, 1962. –С. 82–87.
5. Флора Киргизии / Н. В. Павлов., А. Н. Васильева, А. П. Гамаюнова [и др.]. – Фрунзе.: Изд-во. АН Киргизской ССР. – 1965. – Т. 11. – С. 81–88.
6. Флора Казахстана / Н. В. Павлов., А. Н. Васильева, А. П. Гамаюнова [и др.]. Алма Ата.: Изд-во. АН Казахской ССР. – 1969. – Т. 7. – С. 434–437.
7. Флора Таджикской ССР / Н. В. Павлов, А. Н. Васильева, А. П. Гамаюнова [и др.] // – Алма Ата.: Изд-во. Ленинград «Наука» Ленинградский отделение. – 1988. – Т. 9. – С. 295–309.
8. Флора Туркмении / Б. К. Шишкин., В. В. Никитин [и др.] // – Ашхабад.: Изд-во. АН Туркменской ССР. – 1960. – Т. 7. – С. 52–56.
9. Ботанико-географическое районирование Узбекистана / К. Ш. Тожибаев, Н. Ю. Бешко, В. А. Попов // Ботанический журнал, 2016. – №10 (101). – С. 1105–1132.

## СЕКЦИЯ 2. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ, МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

### BIOLOGICAL ABSORPTION COEFFICIENT OF SOME HEAVY METALS OF ORCHIS PURPUREA DISTRIBUTED IN THE TERRITORY OF GUSAR DISTRICT OF AZERBAIJAN

Alaskarova F. E., Gumbatova M. Kh., Gadimov A. G.

Institute of Botany, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan  
e-mail: fidan.aleskerova.87@gmail.com

*The present study investigates the concentrations of copper (Cu), zinc (Zn), and lead (Pb) in soil and plant samples collected from the rhizosphere of *Orchis purpurea* Huds., a species naturally distributed in Gusar region of Azerbaijan. In addition, soil pH and electrical conductivity were analyzed. The findings indicate that although zinc exhibited the highest concentration in the rhizosphere soil among the three elements (77 ppm), copper demonstrated a comparatively higher Biological Absorption Coefficient (BAC), suggesting a more efficient uptake by the plant.*

The Orchidaceae family, comprising approximately 30,000 species, is the second largest family among flowering plants in terms of species diversity [1]. Although orchids vary widely in morphological form, the presence of unique microscopic seeds is a common feature shared across the family. A key characteristic that differentiates these seeds from those of other angiosperms is the absence of endosperm [2]. As a result, upon germination, the seeds are unable to independently develop roots, shoots, or stems, a condition referred to as «morphological dormancy». Orchids are also known for their valuable tuberous roots, which have been utilized for centuries due to their nutritional and medicinal properties. As is well known, orchids primarily propagate via tuberous roots. However, uncontrolled and excessive harvesting of these tubers from the wild can lead to a decline in their natural populations and may ultimately threaten the species with extinction.

In this context, the conservation and enhancement of these species represent critically important issues. Primarily, the physical properties and chemical composition of the soils where orchids grow must be studied. Furthermore, recent anthropogenic impacts have led to environmental contamination by heavy metals, which contributes to the decline and extinction of many plant species, including orchids. Considering these factors, the present study focuses on determining the concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Pb) in *Orchis purpurea* Huds. and its rhizosphere, as well as assessing the physicochemical characteristics of the soils in which this species naturally occurs. This investigation is of great significance for preventing the extinction of *Orchis purpurea* in the natural flora.

**Materials and Methods.** The study was conducted during April–May of 2023–2024 on the naturally occurring *Orchis purpurea* Huds. species and soils collected from its rhizosphere in Gusar.

Gusar is located in the northeastern part of the Greater Caucasus within the territory of Azerbaijan and belongs to the Guba Mountain Massif botanical-geographical zone. The soil type in the area is classified as dark brown. The region is characterized by a moderately warm climate with evenly distributed annual precipitation ranging between 350 and 1500 mm. For the purpose of the study, soil samples were collected from the region at altitudes ranging from 476 to 718 meters above sea level and subsequently air-dried. The pH of the soil was determined using the Sinao method (GOST 26483-85), while the electrical conductivity (EC,  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) was measured using a Cond 3110 conductivity meter. The concentrations of the investigated heavy metals (Cu, Zn, and Pb) in dried plant and soil samples were determined using a Spectro X Lab 2000 PED X-ray fluorescence (XRF) spectrometer. Based on the concentrations of heavy metals measured in both soil and plant tissues, the Biological Absorption Coefficient (BAC) was calculated using the following formula:

$$BAC = \frac{C_p}{C_s},$$

It has been established that when the Biological Absorption Coefficient (BAC) is greater than 1 ( $BAC > 1$ ), the elements are accumulated by the plant; whereas when the BAC is less than 1 ( $BAC < 1$ ), the elements are merely absorbed but not significantly accumulated within the plant.

Results and Discussion. Some of the physical parameters of soils collected from the rhizosphere of *Orchis purpurea* Huds., growing in the Gusar, are presented in Figure 1.

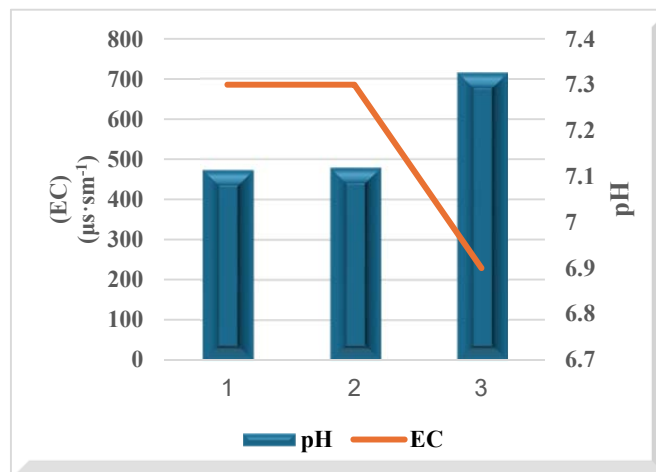


Figure 1 – Physicochemical properties of soils collected from the rhizosphere of *Orchis purpurea*

In our study, the pH values of soils collected from the rhizosphere of *Orchis* species naturally distributed in Gusar were found to range between 6.9 and 7.3. These results are consistent with those reported by other researchers. Ortaş (2011) noted that *Orchis* species can grow in soils ranging from mildly acidic to alkaline [3]. Similarly, Ors et al. reported that in the Bayburt, Bingöl, and Erzurum regions, the soils where *Salep Orchis* and *Dactylorhiza* species grow exhibited pH values between 5.71 and 7.81 [4].

As illustrated in Figure 1, the electrical conductivity (EC) values in the studied soils ranged from 476 to 718  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Based on these results, it can be concluded that the rhizospheric soil of *Orchis purpurea* growing in Gusar is non-saline. This observation is consistent with literature data, which indicate that *Orchis* species typically grow in non-saline or low-salinity soils [4].

The analysis of the results clearly demonstrates that the average concentrations of the investigated heavy metals in the soil exceed their respective Maximum Permissible Concentration (MPC) limits (MPC: Cu – 3.0; Zn – 23; Pb – 6.0) [5]. When compared with the findings of other researchers, it is evident that the levels of heavy metals in the soils studied in this research are considerably higher. This serves as a clear indicator of heavy metal contamination in the investigated soil. As is well known, plants possess the ability to absorb elements from the soil to varying degrees. Table 1 below presents the concentrations (ppm) of heavy metals detected in the soil and the amounts absorbed by the plant (Table 1).

In the analyzed soil samples, the concentration of copper (Cu) was determined to be 32.3 ppm ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), of which 33.7% was absorbed by the plant. Although the concentration of zinc (Zn) was higher, measured at 77 ppm, only 22.3% was accumulated in the aerial parts of the plant. In contrast, lead (Pb) was present at a concentration of 19.4 ppm, with just 5.6% being taken up by the plant.

Research findings indicate that a high concentration of elements in the plant rhizosphere does not necessarily correlate with higher uptake by the plant. Despite the fact that the rhizospheric soil of *Orchis purpurea* contained higher levels of zinc (Zn) compared to copper (Cu) and lead (Pb), Zn exhibited the lowest Biological Absorption Coefficient (BAC). Based on the analytical results, it

can be concluded that, unlike lead, the studied elements—particularly copper and zinc—are relatively more efficiently absorbed by the plant organs.

**Table 1. Average values of heavy metal content in the rhizosphere and above-ground organs of *Orchis purpurea* plant**

| Plant                      | Area  | Amount of heavy metals (ppm) ( $\Sigma$ ) |       |       |       |      |       |
|----------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|
|                            |       | Cu                                        |       | Zn    |       | Pb   |       |
|                            |       | Soil                                      | Plant | Soil  | Plant | Soil | Plant |
| <i>Orchis purpurea</i>     | Gusar | 32,3                                      | 10,9  | 77    | 17,2  | 19,4 | 1,1   |
| <i>BAC (A<sub>x</sub>)</i> |       | 0.337                                     |       | 0.223 |       | 0.56 |       |

Based on the analysis of the obtained results, the fact that the Biological Absorption Coefficient (BAC) of all three studied elements (Cu, Zn, and Pb) was less than 1 ( $BAC < 1$ ) indicates that *Orchis purpurea* is capable of absorbing heavy metals from the soil; however, it does not accumulate them in significant amounts within its tissues.

#### Used literature

1. Arditti, J. Numerical and physical properties of orchid seeds and their biological implications / J. Arditti, A. K. Ghani // *New Phytol.* – 2000. – Vol. 145. – P. 367–421.
2. Mitchell, R. B. Growing hardy orchids from seeds at Kew / R. B. Mitchell // *Plantsman.* – 1989. – Vol. 2. – P. 152–69.
3. Ortaş, İ. Orkide ve mikorizasının bitki çimlenmesi ve gelişimi üzerine etkisi. İ. Salep Orkidesi Çalıştay / İ. Ortaş // *Kahramanmaraş.* – 2011. – P. 39–64.
4. Physical and chemical soil properties of orchid growing areas in Eastern Turkey / S. Ors, U. Sahin, S. Ercisli, A. Esitken // *The Journal of Animal & Plant Sciences.* – 2011. – Vol. 21 (1). – P. 60-65.
5. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Энциклопедия «Экометрия» // Санкт-Петербург: Изд-во Крисмаст, 1998.

## EXTRACTION AND PHARMACEUTICAL POTENTIAL OF EXOSOME-LIKE NANOPARTICLES FROM *PAEDERIA SCANDENS*

Peng Y.<sup>1</sup>, Demidchik V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Cell Biology and Bioengineering, Faculty of Biology, Belarusian State University, Minsk, Belarus; Hainan College of Vocation and Technique, Haikou, China

e-mail: archer6947@outlook.com

<sup>2</sup>Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

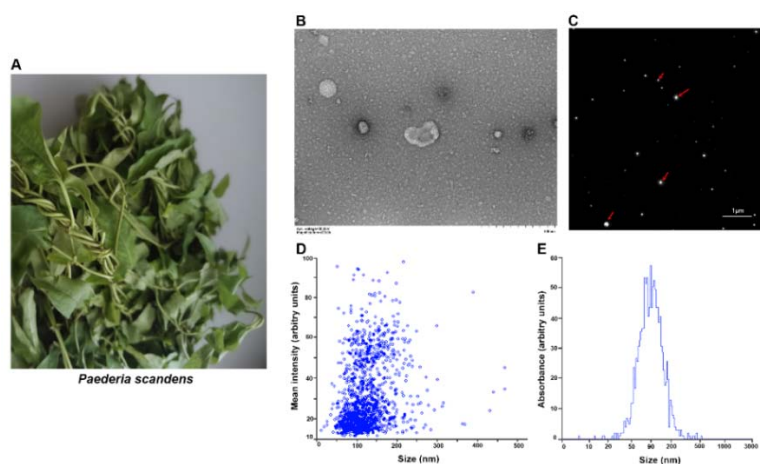
e-mail: demidchik@botany.by

*Exosome-like nanoparticles (ELNs) are extracellular vesicles (EVs) secreted by plant cells, involved in plant cell-to-cell communication. ELNs hold potential as medicinal materials due to the pharmacologically active chemicals and cross-kingdom regulatory miRNAs they contain. Here, ultracentrifugation was used to extract ELNs from *Paederia scandens*. Transmission electron microscopy (TEM) and nanoparticle tracking analysis (NTA) were employed to determine the particle size of ELNs. High-performance liquid chromatography (HPLC) was utilized to identify the chemicals in ELNs. MiRNA-Seq was applied to identify the miRNAs in ELNs. *Paederia scandens*-derived ELNs (P-ELNs) were used to treat the inflammatory model of mouse macrophage RAW264.7 cells. The results showed that P-ELNs have a vesicular structure with a size range of 50-200 nm, and contain terpenoids include Andrographolide, Asiatic acid, Scandoside, and Geniposide acid, as well as various miRNAs including MIR156 and MIR159. Furthermore, P-ELNs significantly alleviated LPS-induced inflammation in RAW264.7 macrophages by increasing cell viability and promoting the polarization of pro-inflammatory M1 macrophages to anti-inflammatory M2 macrophages, indicating their potential as natural anti-inflammatory agents.*

Exosome-like nanoparticles (ELNs) are extracellular vesicles (EVs) secreted by plant cells, involved in plant cell-to-cell communication [1]. They are naturally abundant, exhibit low immunogenicity, and can transport bioactive compounds across biological barriers [1-2]. Various techniques have been established for the isolation of ELNs, with ultracentrifugation being a widely used method that utilizes differential centrifugal forces to separate ELNs from cellular debris based on their sedimentation properties. Other approaches include size-exclusion chromatography, which relies on a porous matrix to separate particles by size, and polymer-mediated precipitation, where polymers induce ELN precipitation. Recent studies have demonstrated the therapeutic potential of ELNs in animal diseases [2].

Characterization of *Paederia scandens*-derived ELNs

*Paederia scandens* is a vine plant belonging to the Rubiaceae family. Morphologically, it is characterized by twining stems and leaves (Fig 1A). Its tender stems can be used as wild vegetables for cooking. Moreover, the whole plant is often processed into medicinal materials and is employed for treating inflammatory diseases and regulating gastrointestinal discomfort [3].

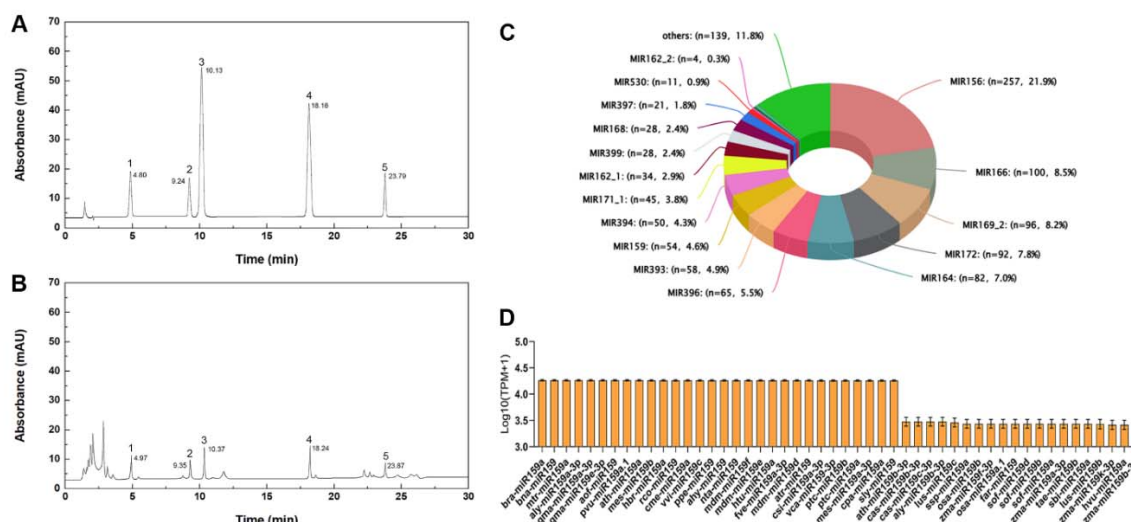


**Figure 1 – Physical characterization of P-ELNs**

A: Samples of *Paederia scandens*. B: TEM images of P-ELNs (magnification factor: 20000). C: P-ELNs captured by NTA, the red arrow represents P-ELNs. D and E: Particle size distribution of P-ELNs.

### • Physical characterization

In this report, *Paederia scandens*-derived ELNs (P-ELNs) were isolated by ultracentrifugation. Fig 1B shows the morphology of P-ELNs under transmission electron microscopy (TEM), presenting as hollow vesicle-like structures. A nanoparticle tracking analyzer (NTA) was used to analyze the particle size of P-ELNs, which showed that the particle size of P-ELNs is mainly distributed between 50–200 nm, with a peak at 90 nm.



**Figure 2 – Chemical characterization of P-ELNs**

A. Chromatogram of the standard mixture. B. Chromatograms of the concentrated solutions of P-ELNs, 1 – Geniposide acid, 2 – Scandoside, 3 – Loganin, 4 – Andrographolide, 5 – Asiatic acid. C. Family classification of miRNAs in P-ELNs. D. The top 50 miRNAs with the highest expression levels in P-ELNs

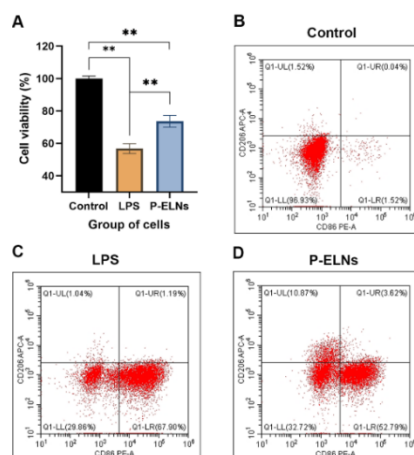
### • Chemical characterization

Five terpenoids, including Geniposide acid, Scandoside, Loganin, Andrographolide, and Asiatic acid, were detected in P-ELNs using HPLC (Fig 2A and B). These terpenoids have also been reported to be detected in *Paederia scandens* [4]. In addition, multiple miRNAs were detected in P-ELNs, including the MIR156, MIR166, MIR169, and MIR172 families (Fig 2C), with the MIR159 family being the miRNA with the top 50 expression levels (Fig 2D).

### Effect of P-ELNs on inflammation in RAW264.7 macrophages

To explore the role of P-ELNs in regulating the immune response during animal diseases, the present study established an inflammatory model using mouse RAW264.7 macrophages induced by lipopolysaccharide (LPS). Following the administration of P-ELNs, the CCK-8 assay was employed to assess the viability of RAW264.7 cells. Additionally, flow cytometry was utilized to examine the expression alterations of specific markers associated with macrophage polarization. These markers include CD86, which is a well-recognized marker for M1 macrophages. M1 macrophages are categorized as pro-inflammatory macrophages that play a key role in initiating and amplifying inflammatory responses. Another marker is CD206, a characteristic marker for M2 macrophages. M2 macrophages are classified as anti-inflammatory macrophages involved in resolving inflammation and promoting tissue repair [5].

The CCK-8 results showed that the cell viability of RAW264.7 macrophages induced by LPS decreased from 100% to 56% ( $p < 0.01$ , Fig 3A), while the cell viability of macrophages treated with P-ELNs increased to 75% ( $p < 0.01$ , Fig 3A). These findings indicate that P-ELNs can alleviate LPS-induced inflammation in macrophages.



**Figure 3 – Inflammation in RAW264.7 macrophages**

A. Cell viability of RAW264.7 macrophages (12h, n=3). B-D Flow cytometry profiling of M1 (CD86) and M2 (CD206) polarization in macrophages. Control: blank control group; LPS: 1.0  $\mu\text{g/mL}$  LPS; P-ELNs: 2.5  $\mu\text{L/mL}$  P-ELN ( $2.5 \times 10^8$  particles/mL) and 1.0  $\mu\text{g/mL}$  LPS

Figs. 3B-D can reflect the polarization status of RAW264.7 macrophages in different treatment groups. In the Control group, cells were mainly concentrated in the Q1-LL region, accounting for 96.93%, indicating that most macrophages were in the unpolarized M0 phenotype (Fig. 3B). In the LPS group, the proportion of cells in the Q1-LR region increased from 1.52% to 67.90%, suggesting that macrophages polarized to the M1 phenotype (Fig. 3C). After treatment with P-ELNs, the proportion of cells in the Q1-LR region decreased to 52.79%, while the proportion of cells in the Q1-UL region (M2 polarization) increased to 10.87% (Fig. 3D). These results indicate that P-ELNs promote the chemotaxis of some M1 macrophages to the M2 phenotype, that is, induce the shift of macrophages from the pro-inflammatory type to the anti-inflammatory type.

In conclusion, this study successfully isolated and characterized *Paederia scandens*-derived ELNs (P-ELNs) with a 50-200 nm vesicular structure, containing terpenoids (e.g., Geniposide acid, Andrographolide) and miRNAs (e.g., MIR156, MIR159). Functional assays demonstrated that P-ELNs alleviate LPS-induced inflammation in RAW264.7 macrophages by enhancing cell viability and promoting the shift from pro-inflammatory M1 to anti-inflammatory M2 polarization, highlighting their potential as natural anti-inflammatory agents. These findings not only support the pharmaceutical value of P-ELNs in inflammatory disease therapy but also lay a foundation for further exploration of their mechanisms of action, such as the specific roles of their contained terpenoids and miRNAs in immune regulation, as well as their potential applications in in vivo models of inflammatory diseases.

*Acknowledgment.* The project was funded by Natural Science Foundation of Hainan, China (No. 324QN284).

## References

1. Plant Exosome-like Nanovesicles: Emerging Therapeutics and Drug Delivery Nanoplatfroms / H. Dad [et al.] // Mol Ther. – 2021. – Vol. 29 (1). – P. 13–31.
2. Grape exosome-like nanoparticles induce intestinal stem cells and protect mice from DSS-induced colitis / S. Ju [et al.] // Mol Ther. – 2013. – Vol. 21 (7). – P. 1345–1357.
3. A phytochemical, pharmacological and clinical profile of *Paederia foetida* and *P. scandens* / L. Wang [et al.] // Nat Prod Commun. – 2014. – Vol. 9 (6). – P. 879–886.
4. Comparison of terpenoids in *Nauclea officinalis* and *Paederia scandens* and their anti-inflammatory effects on RAW264.7 macrophages / Y. Peng, V. Demidchik, Y. Li, Z. Shen // Fitoterapia. – 2025. – Vol. 182. – P. 106411.
5. Macrophage polarization: an important role in inflammatory diseases / M. Luo [et al.] // Frontiers in immunology. – 2024. – Vol. 15. – P. 1352946.

## MICRORNAS FROM EXOSOME-LIKE NANOPARTICLES ISOLATED FROM *NAUCLEA OFFICINALIS* TARGET HUMAN GENES AND ALLEVIATE LIPID DEPOSITION IN HEPG2 HEPATOCYTE

Peng Y.<sup>1</sup>, Demidchik V. V.<sup>2</sup>, Zuo J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Cell Biology and Bioengineering, Faculty of Biology, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus; Hainan College of Vocation and Technique, Haikou, China

e-mail: archer6947@outlook.com

<sup>2</sup>Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

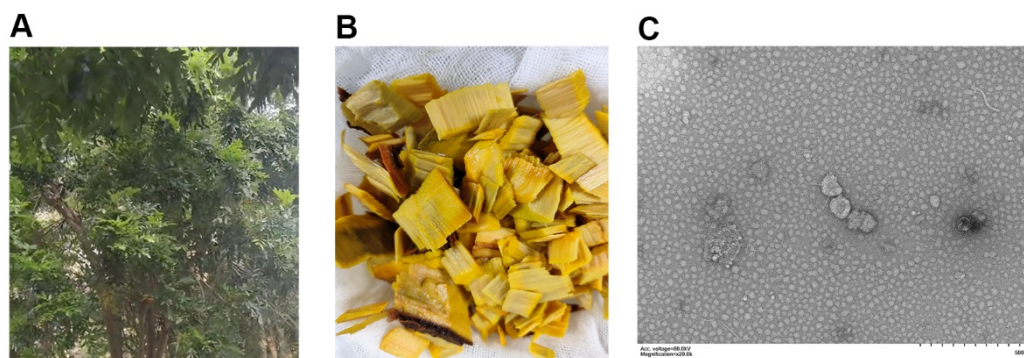
e-mail: demidchik@botany.by

<sup>3</sup>Hainan College of Vocation and Technique, Haikou, China

e-mail: 421756031@qq.com

*Nauclea officinalis*, a traditional Chinese herb of the Rubiaceae family, was used to isolate exosome-like nanoparticles (N-ELNs) via ultracentrifugation combined with sucrose density gradient purification. These N-ELNs exhibited typical plant-derived extracellular vesicle characteristics with a size range of 25-200 nm (peak at 68 nm) as observed by transmission electron microscopy and nanoparticle tracking analysis. RNA-seq identified multiple miRNAs include MIR172, MIR156, MIR1919 and MIR396 families. GO enrichment analysis of target genes highlighted biological processes related to immune regulation, including responses to bacterial molecules and lipopolysaccharide, as well as leukocyte cell-cell adhesion, with enrichment in the inflammasome complex. KEGG enrichment showed target genes involved in adipocytokine signaling, alcoholic liver disease, and pathways related to inflammation and lipid metabolism, with associations to NF- $\kappa$ B signaling, and lipid metabolism genes (ACC2, CPT1). In *in vitro* experiments, N-ELNs can reduce lipid deposition in FFA-induced WRL68 hepatocytes and regulate the expression of 'Alcoholic fatty liver diseases' pathway genes ACC2, CPT1, and NF- $\kappa$ B. These findings confirm the potential of N-ELNs in regulating hepatic lipid homeostasis.

Plant-derived exosome-like nanoparticles (ELNs) contain a variety of miRNAs that can be used for information transmission between plant cells [1]. Recent studies have found that these miRNAs can regulate animal gene expression and exert cross-kingdom regulatory effects (from plant to animal) [2]. *Nauclea officinalis* (Fig 1A and B) is a traditional herbal medicine, whose stems are often used as a drug to treat inflammatory diseases and thus selected as the research object in this report [3]. Fig 1C shows the ELNs extracted from the stems of *Nauclea officinalis* (N-ELNs) via ultracentrifugation, presenting as hollow vesicle-like structures.



**Figure 1 – *Nauclea officinalis*-derived exosome-like nanoparticles**

A: *Nauclea officinalis*. B: Stem sample of *Nauclea officinalis*. C. TEM images of N-ELNs (magnification factor: 20000)

### MiRNA from N-ELNs matched to the human genome

#### • MiRNA in *Nauclea officinalis*-derived ELNs

MiRNA-Seq and miRNA alignment were performed on three N-ELN samples, and Fig 2 lists the top 50 miRNAs with the highest expression levels in the three samples. The results showed that in N-ELNs, csi-miR172-5p had the highest expression level, followed by sly-miR1919c-5p, stu-miR1919-5p, mtr-miR172c-5p, eun-miR172a-5p, gma-miR172b-5p, eun-miR172c-5p, and ppe-

miR172a-5p. The expression levels of other detected miRNAs from the MIR396 and MIR159 families were relatively lower.

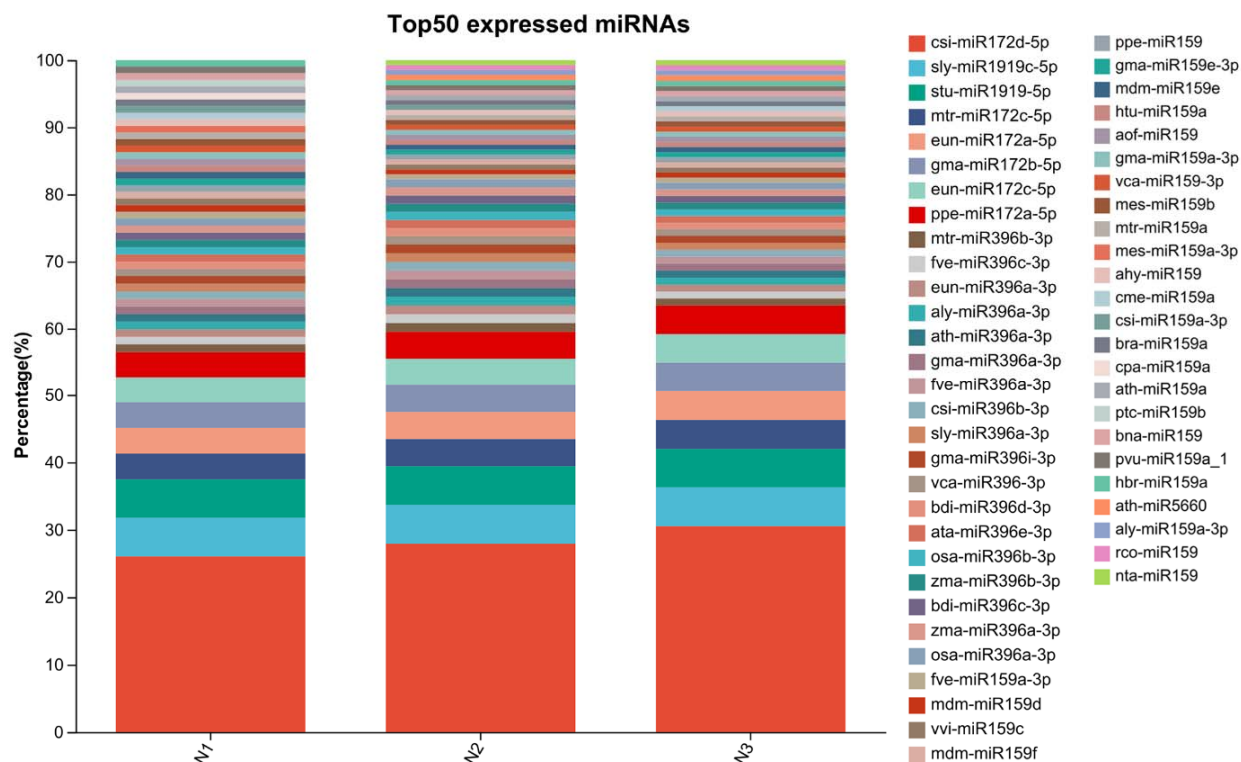


Figure 2 – Top 50 expression miRNAs in N-ELNs

• GO and KEGG enrichment of target genes

By matching the top 50 miRNAs by expression level to the human genome, the GO enrichment results showed that the miRNAs in N-ELNs were mainly enriched in 5 biological processes, 6 cellular components, and 10 molecular functions in the human genome, with the results presented in Table 1.

Table 1. GO enrichment of target genes

| Classification          | Terms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biological Process (BP) | 1) response to molecule of bacterial origin; 2) response to drug; 3) response to lipopolysaccharide; 4) leukocyte cell - cell adhesion; 5) regulation of hemopoiesis;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Cellular Component (CC) | 1) Cytosolic ribosome; 2) ribosomal subunit; 3) immunological synapse; 4) cytosolic small ribosomal subunit; 5) ribosome; 6) inflammasome complex                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Molecular Function (MF) | 1) Structural constituent of ribosome; 2) chromatin DNA binding; 3) DNA - binding transcription repressor activity RNA polymerase II – specific; 4) DNA - binding transcription repressor activity; 5) cysteine - type endopeptidase activity involved in apoptotic pathway; 6) cysteine - type endopeptidase activity involved in apoptotic process; 7) CARD domain binding; 8) calcium - dependent protein serine/threonine kinase activity; 9) calcium - dependent protein serine kinase activity; 10) phosphatidylinositol phospholipase C activity. |

The KEGG enrichment results showed that the miRNAs in N-ELNs were mainly enriched in 10 human disease pathways (Table 2). It is worth noting that in addition to diseases related to infectious inflammation, the target genes were also enriched in lipid metabolism-related pathways such as 'Adipocytokine signaling pathway' and 'Alcoholic fatty liver disease', which involve *Acetyl-CoA Carboxylase 2 (ACC2)*, *Carnitine Palmitoyltransferase 1 (CPT1)*, and *Nuclear Factor kappa-B (NF-κB)*.

Table 2. KEGG enrichment of target genes

| Pathways in human disease (KEGG)        | Target genes                                                                                          |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coronavirus disease COVID - 19          | <i>RPSA; RPL8; RPL18; PLCG2; CASP1; RPS2; RPS27; NF-<math>\kappa</math>B; IL-12<math>\beta</math></i> |
| Transcriptional misregulation in cancer | <i>TAF-15; HMGA2; KDM6A MITF; BCL6; MPO; MYC; NF-<math>\kappa</math>B</i>                             |
| Shigellosis                             | <i>PRCKQ; ROCK1; CASP4; ELMO2; PLCG2; CASP1; NF-<math>\kappa</math>B</i>                              |
| T cell receptor signaling pathway       | <i>CD28; DLG1; PAK2; PRCKQ; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                               |
| Adipocytokine signaling pathway         | <i>CPT1; ACC2; PRCKQ; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                                     |
| Epstein - Barr virus infection          | <i>MAP2K6; BCL2; B2M; MYC; PLCG2; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                         |
| Yersinia infection                      | <i>MAP2K6; ROCK1; ELMO2; CASP1; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                           |
| Osteoclast differentiation              | <i>CAMK4; MAP2K6; MITF; PLCG2; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                            |
| Alcoholic fatty liver disease           | <i>CPT1; ACC2; MAP2K6; NF-<math>\kappa</math>B; IL-12<math>\beta</math></i>                           |
| MicroRNAs in cancer                     | <i>NOTC1; BCL2; ROCK1; HMGA2; MYC; PLCG2; NF-<math>\kappa</math>B</i>                                 |

### Effect of N-ELNs on fatty liver model of HepG2 hepatocyte

N-ELNs were used to treat the fatty liver model of HepG2 hepatocytes induced by free fatty acids (FFA). Fig. A shows the Oil Red O staining images of cells in each group, where red indicates lipid deposits in the cells. A large amount of lipid deposition was observed in the FFA group, suggesting that hepatocyte lipid metabolism was impaired. In the N-ELNs group, intracellular lipid deposition was significantly reduced.

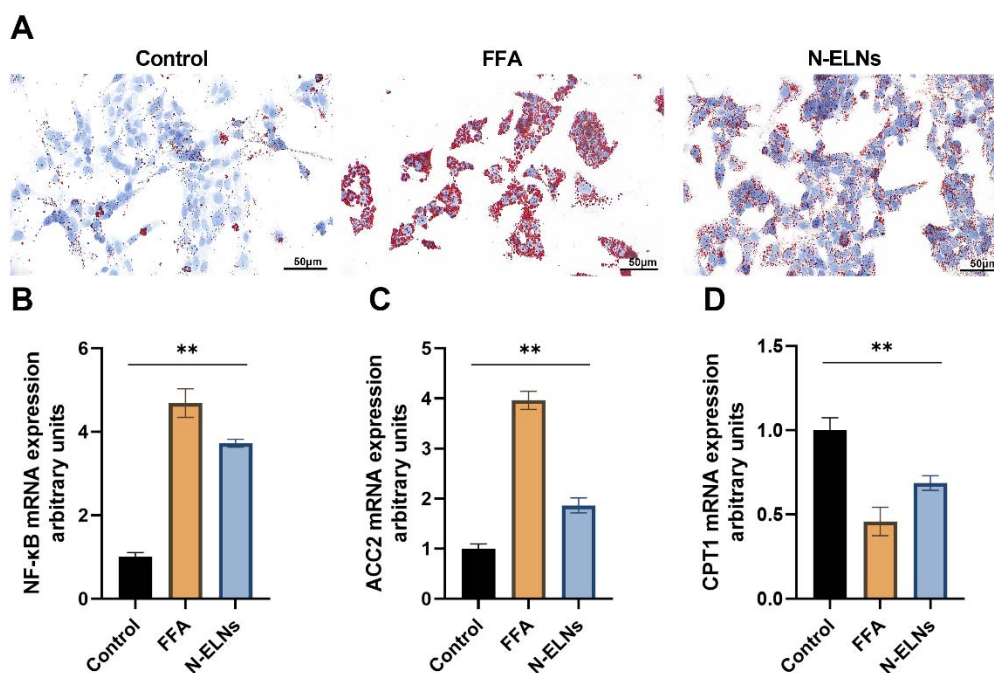


Figure 3 – Fatty liver model of HepG2 hepatocyte

A. Oil Red O staining of HepG2 hepatocyte. B-D. Target genes expression of mRNA in HepG2 hepatocyte (*NF- $\kappa$ B*, *ACC2*, and *CPT1*). Control: negative control group without treatments; FFA: 1.0 mmol/L free fatty acids (FFA, 2:1 ratio of oleic acid to palmitic acid) added to the medium; N-ELNs: 50  $\mu$ L/mL N-ELNs and 1 mmol/L FFA were added to the medium

The expression levels of key genes (*NF- $\kappa$ B*, *ACC2*, and *CPT1*) in the 'Alcoholic fatty liver disease' pathway in HepG2 hepatocytes were detected using qPCR. The results showed that the expression levels of *NF- $\kappa$ B* and *ACC2* in the FFA group were significantly increased ( $p < 0.01$ , Fig 3B to 3D), while the expression level of *CPT1* was decreased compared with the Control group ( $p < 0.01$ , Fig 3B to 3D). *NF- $\kappa$ B* is an important nuclear transcription factor that can regulate inflammatory responses; during the development of fatty liver, it can exacerbate hepatocyte damage by activating the expression of downstream inflammation-related genes [4]. The *ACC2/CPT1* axis

is a critical gene combination regulating lipid metabolism in hepatocytes [5-6]. Among them, *ACC2* mainly catalyzes the conversion of acetyl-CoA to malonyl-CoA to inhibit fatty acid oxidation, while *CPT1* is a key rate-limiting enzyme for fatty acids to enter mitochondria for  $\beta$ -oxidation. The balance between the two directly affects the processes of lipid synthesis and decomposition in hepatocytes [5-6]. In the N-ELNs treatment group, the expression of *NF- $\kappa$ B* and *ACC2* was inhibited, and the expression level of *CPT1* significantly increased ( $p < 0.01$ , Fig 3B to 3D). These findings indicate that N-ELNs can improve lipid metabolism in hepatocytes by regulating *NF- $\kappa$ B* and the *ACC2/CPT1* axis, suggesting their potential in treating fatty liver.

This study isolated ELNs from *Nauclea officinalis* which contain multiple miRNAs that can match the human genome. These miRNAs target genes enriched in pathways related to inflammatory responses lipid metabolism and diseases such as alcoholic fatty liver disease. In vitro experiments showed that N-ELNs alleviate lipid deposition in FFA-induced HepG2 hepatocytes by regulating the expression of key genes like *NF- $\kappa$ B*, *ACC2* and *CPT1* which are involved in these pathways. This indicates that the miRNAs in N-ELNs play a crucial role in mediating these regulatory effects highlighting their potential to participate in the regulation of inflammatory and metabolic diseases especially those related to lipid metabolism disorders.

*Acknowledgment.* The project was funded by Natural Science Foundation of Hainan, China (No. 325RC796).

#### References

1. Plant Exosome-like Nanovesicles: Emerging Therapeutics and Drug Delivery Nanoplatfroms / H. Dad [et al.] // *Mol Ther.* – 2021. – Vol. 29 (1). – P. 13–31.
2. Dietary plant miRNAs as an augmented therapy: cross-kingdom gene regulation / R. Sanchita Trivedi [et al.] // *RNA Biol.* – 2018. – Vol. 15 (12). – P. 1433–1439.
3. *Nauclea officinalis*: A Chinese medicinal herb with phytochemical, biological, and pharmacological effects / B. Liu [et al.] // *Chinese medicine.* – 2022. – Vol. 17 (1). – P. 141.
4. Luedde, T. *NF- $\kappa$ B* in the liver--linking injury, fibrosis and hepatocellular carcinoma / T. Luedde, R. Schwabe // *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology.* – 2011. – Vol. 8 (2). – P. 108–118.
5. Regulatory enzymes of mitochondrial beta-oxidation as targets for treatment of the metabolic syndrome / M. Schreurs [et al.] // *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity.* – 2010. – Vol. 11 (5). – P. 380–388.
6. Acetyl-CoA Carboxylases and Diseases / Y. Wang [et al.] // *Frontiers in oncology.* – 2022. – Vol. 12. – P. 836058.

**NITRATE REDUCTASE ACTIVITY OF COWPEA INFECTED WITH TRICHODERMA  
AND GROWN IN SALINE ENVIRONMENT**Rahimova S. N.<sup>1</sup>, Eyvazova G.<sup>2</sup>, Gadimov A. G.<sup>2</sup>, Alaskarova F. E.<sup>2</sup><sup>1</sup>Azərbaycan State Agricultural University, Gandja<sup>2</sup>Ministry of science and Education of the Republic of Azerbaijan Institute of Botany, Baku  
e-mail: agadimov@mail.ru

*In this study, the effect of the micromisetes *Trichoderma asperellum* on the activity of the nitrate reductase enzyme in the organs of the "Ayla" variety of cowpea (*Vigna unguiculata*) plants grown under 100 mM NaCl salinity was investigated. The seeds of the experimental variant were soaked in a *Trichoderma* culture solution for 15 hours prior to planting. The results demonstrated that *Tr. asperellum*, through its antagonistic action against pathogens and its ability to synthesize physiologically active compounds, exerted a dual effect by significantly enhancing nitrate reductase activity both under normal conditions and under chloride-induced salinity stress.*

Approximately 96.5 % of the world's agricultural soils are affected by abiotic stress factors. Among these, drought and salinity significantly alter soil composition and biodiversity, negatively impacting morphophysiological and biochemical processes, thereby reducing crop productivity by up to 60% [3; 7].

One of the most ecologically effective strategies for plants to adapt to unfavorable environmental conditions is their interaction with microorganisms, particularly microfungi. These plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) help restore disrupted metabolic processes and stimulate physiological functions, thereby protecting plants from stress effects. A review of the literature reveals that non-pathogenic microorganisms are commonly present in association with various plant species. These microorganisms not only enhance nutrient uptake from the soil but also increase plant tolerance to various types of stress, thus supporting plant survival and productivity under adverse conditions [6; 11].

Literature analysis also indicates that many fungal strains demonstrate greater resistance to drought and salinity compared to bacteria, enabling them to activate multiple tolerance mechanisms and proliferate easily under such stress conditions. By synthesizing plant-derived phytohormones such as auxins, gibberellins, and others, they influence the hormonal balance of host plants, enhancing their resistance to both biotic and abiotic factors. The survival of certain plant species in highly saline and hyperthermal soils is also supported by the activity of such fungi [4; 8].

Species of the genus *Trichoderma* play a crucial role in enhancing plant resistance to adverse environmental conditions. These microfungi colonize the rhizosphere and stimulate nutrient uptake and water retention in plants, thereby supporting the growth, development, and productivity of plants exposed to salinity and drought stress. *Trichoderma* enhances plant tolerance to such stressors by promoting the expression of antioxidant enzymes, secondary metabolites, and phytohormones [1; 10].

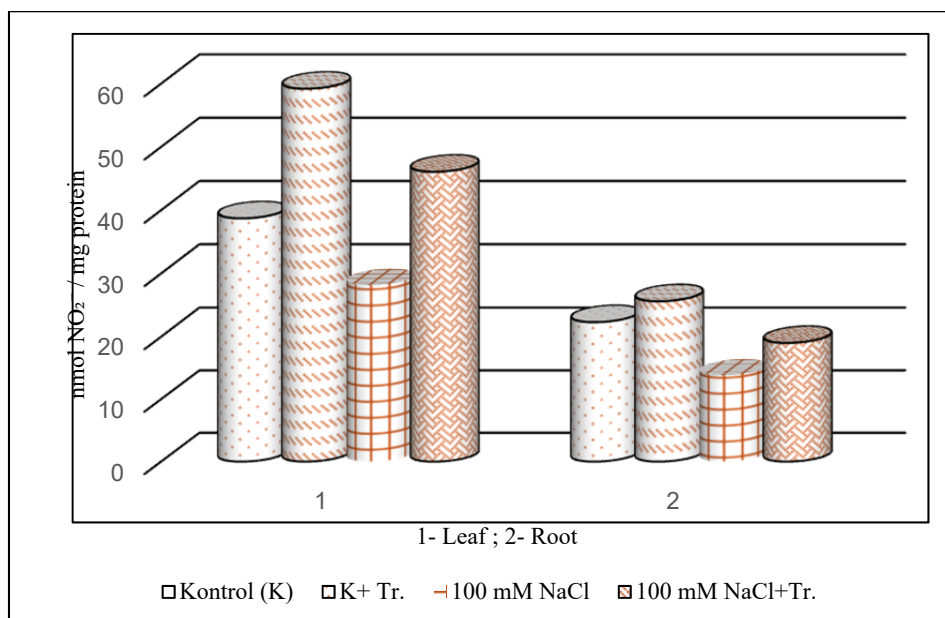
The *Trichoderma* strains used in our study occupy a unique position among soil microorganisms. By synthesizing physiologically active compounds, these fungi positively influence various biochemical processes in plants, thereby enhancing their growth and productivity. Specifically, colonization of the rhizosphere by *Trichoderma* significantly activates several plant enzymes, including invertase, catalase, amylase, and urease, which in turn intensify redox reactions, photosynthesis, and nutrient uptake by roots.

These effects not only increase yield levels but also improve the qualitative characteristics of the harvest, such as protein content, essential amino acids, and vitamins. Considering the aforementioned factors, we investigated the effect of *Trichoderma* on the activity of the nitrate reductase enzyme in the organs of 21-day-old cowpea plants (*Vigna unguiculata*) grown under 100 mM chloride salinity.

**Materials and Methods.** The "Ayla" cultivar of cowpea (*Vigna unguiculata*) was used in this study. The seeds were pre-soaked for 15 hours in a culture solution of *Trichoderma asperellum* (Tr. asperellum). The plants were grown hydroponically in Knop nutrient solution (0.4 N). On the 5th day of the experiment, the growing medium was salinized with NaCl at a concentration of 100 mM. On the 21st day of the experiment, around 12:00 p.m., plant samples were collected for analysis. The activity of the enzyme nitrate reductase (NR) was determined in vivo in the roots and leaves of the plants according to the method described by Lvov (1988) [12]. NR activity was measured spectrophotometrically at an optical density of 548 nm and expressed as nmol NO<sub>2</sub><sup>-</sup> per mg<sup>-1</sup> protein. The protein content was determined using the Hartree method [9].

**Results and Discussion.** The results showed that nitrate reductase (NR) activity in the roots and leaves of 3-week-old cowpea plants varied significantly depending on salinity stress (Figure 1). Notably, NR activity was higher in the leaves than in the roots under both control and saline conditions. Salinization with 100 mM NaCl led to a decline in NR activity in both organs. Specifically, NR activity decreased by 27.3% in the roots and by 38.12% in the leaves due to the effects of chloride salts (Figure 1).

It is well documented that various *Trichoderma* species are used as biocontrol agents against plant diseases. In addition to their antagonistic properties, they are known to promote plant growth and development, possessing high reproductive capacity and the ability to modify the rhizosphere. These fungi not only thrive under unfavorable conditions but also enhance plant defense mechanisms through aggressive action against phytopathogenic fungi [4]. Furthermore, *Trichoderma* species synthesize physiologically active substances such as auxins, gibberellins, and abscisic acid. They also significantly enhance the activity of enzymes such as catalase, amylase, and urease. These effects, in turn, positively influence morphophysiological and biochemical processes in plants, including redox reactions, photosynthesis, water exchange, respiration, and nutrient uptake by roots. Based on the above, it can be hypothesized that *Trichoderma* may positively influence nitrate reductase activity under various stress conditions, including salinity. The results obtained in this study provide further evidence supporting this assumption (Figure 1).



**Figure 1 – Nitrate reductase activity (nmol NO<sub>2</sub><sup>-</sup> per mg<sup>-1</sup> protein) in cowpea (*Vigna unguiculata*) under saline conditions in the presence of *Trichoderma asperellum* (Tr.)**

The results demonstrated that treatment of seeds with a *Trichoderma* culture solution increased nitrate reductase (NR) activity in the roots and leaves of 3-week-old plants. Under normal conditions, *Trichoderma* stimulated enzyme activity by 53 % in leaves and 14.3 % in roots. Under 100 mM NaCl salinity, the corresponding increases were 65.6 % in leaves and 37.7 % in roots. In

saline conditions, *Trichoderma* enhanced NR activity in both roots and leaves to a greater extent compared to normal conditions. Notably, NR activity in leaves even exceeded that of the control variant.

Thus, based on the results obtained from the conducted experiments, it is evident that *Trichoderma asperellum* micromycete positively affects nitrate reductase activity both under normal and chloride salinity conditions (more pronounced under salinity), suggesting its potential effectiveness in improving plant productivity under saline stress.

#### Reference

1. Plant defense against fungal pathogens by antagonistic fungi with *Trichoderma* in focus / M. Adnan, W. Islam, A. Shabbir [et al.] // *Microb. Pathog.* – 2019. – Vol. 129. – P. 7–18. doi:10.1016/j.micpath.2019.01.042.
2. Buragoni, S. G. Applications of endophytic microbes in agriculture, biotechnology, medicine, and beyond microbiological research / S. G. Buragoni, J. Jeon – 2021. – Vol. 245. – P. 126691. doi:10.1016/j.micres.2020.126691
3. Effects of abiotic stress on plants: A systems biology perspective / G. R. Cramer, K. Urano [et al.] // *BMC Plant Biol.* – 2011. doi:10.1186/1471-2229-11-163.
4. Fungal proteins and genes associated with biocontrol mechanisms of soil-borne pathogens: a review / Y. Daguerre, K. Siegel, V. Edel-hermann, C. Steinberg // *Fungal Biol Rev.* – 2014. – Vol. 28. – P. 97–125. doi: doi.org/10.1016/j.fbr.2014.11.001.
5. Local responses and systemic induced resistance mediated by ectomycorrhiza fungi / S. Dreischhoff, I. S. Das, M. Jakobi [et al.] // *Front. Plant sci.* – 2020. – Vol. 11. – P. 590063. doi:10.3389/fpls.2020.590063.
6. Effect of *Trichoderma* on the morphophysiological parameters of some wheat genotypes / A. G. Gadimov, G. A. Mirzayeva, S. A. Abdulbagiyeva, S. M. Rasulova // *Int. Sci. Journal science and innovation.* – 2023. doi: doi.org/10.5281/zenodo.8385198.
7. An insight into Abiotic stress and influx tolerance mechanisms in plants to cope in saline environments biology (Basel) / Z. Gul, Z. H. Tang, M. Arif, Z. Ye. – 2022. – Vol. 11 (4). – P. 597. doi: 10.3390/biology11040597.
8. Plant tolerance to drought stress in the presence of supporting bacteria and fungi: An efficient strategy in horticulture / A. Hanaka, E. Ozimek, E. Reszczynska [et al.] // *Horticulturae.* – 2021. – Vol. 7. – P. 390. doi: 10.3390/horticulturae7100390.
9. Hartree, E. F. Determination of protein: a modification of the Lowry method gives a linear photometric response / E. F. Hartree // *Analyt. Biochem.* – 1972. – Vol. 48, №2. – P. 422.
10. Jay, A. K. Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review / Jay A.K., Verma P. // *Microbiological research.* – 2018. – Vol. 207. – P. 41–52. doi:10.1016/j.micres.2017.11.004.
11. Endophyte roles in nutrient acquisition, root system architecture development and oxidative stress tolerance / S. K. Verma, P. K. Sahu, K. Kumar [et al.] // *Journal of Applied Microbiology.* – 2021. – Vol. 131, Iss. 5. – P. 2161–2177. doi: 10.1111/jam.15111.
12. Львов, Н. П. О методах определения нитратредуктазной активности у растений / Н. П. Львов, П. М. Сафаралиев // *Физиология растений.* – 1988. – Т. 35, Вып. 1. – С. 196–200.

## THE PHENOMENON OF PLASMOLYSIS DURING PLANT OSMOTIC ADJUSTMENT: CELLULAR AND MOLECULAR MECHANISMS

Zhao K.<sup>1</sup>, Demidchik V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Cell Biology and Plant Bioengineering, Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: kevinzhaoantares@foxmail.com

<sup>2</sup>Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
e-mail: demidchik@botany.by

*Plasmolysis is a reaction of plant cells to a hypertonic environment, occurring during salt and drought stress. In the case of typical plasmolysis, the protoplast shrinks and separates from cell walls. It results in changes in intracellular ultrastructure and metabolic and physiological reactions. Although plasmolysis was described more than a hundred years ago, the clear mechanisms of this important physiological response are still poorly understood. This article deals with the analysis of existing data on the relationship between plasmolysis and osmotic regulation, as well as structural changes of endoplasmic reticulum, Hechtian network, and cytoskeleton during development of the plasmolysis. The article focuses on the role of ion channels in plasmolysis, which are the main passive transporters of ions in the cell and are involved in almost all osmotic movements in plants. Recent data clearly show that plant cells possess a wide range of ion channels for both anions and cations, which have already been identified at the genetic level, and which are capable of triggering the early stages of plasmolysis.*

The term plasmolysis was defined by de Vries upon the invention of a method to determine a plant's turgor pressure using hypertonic solutions. If plant cells are placed in a hypertonic (high osmotic and low water potential) solution, they lose water and thus their turgor pressure through plasmolysis: the pressure is reduced to the point where the cell's protoplasm is stripped away from the cell wall, leaving a gap between the cell wall and cell membrane. The continued decrease in pressure eventually leads to cell “sclerosis” - the complete collapse of the protoplast and even cell walls. In this case, the plant with cells will wilt. After plasmolysis, the space between the cell wall and cell membrane in plant cells is filled with hypertonic solution. Plasmolysis is reversible and the addition of hypotonic solution or clean water will cause the protoplasts to re-expand and restore the original swelling pressure. The central vacuole is the most important location where plasmolysis occurs, but plasmolysis will affect the submicroscopic structure of the entire cell. At the same time, plasmolysis requires the rigid structure of the cell wall to envelop the osmotically sensitive and membrane-covered protoplasts. Apart from walled cells of plants, plasmolysis occurs in bacteria and fungi.

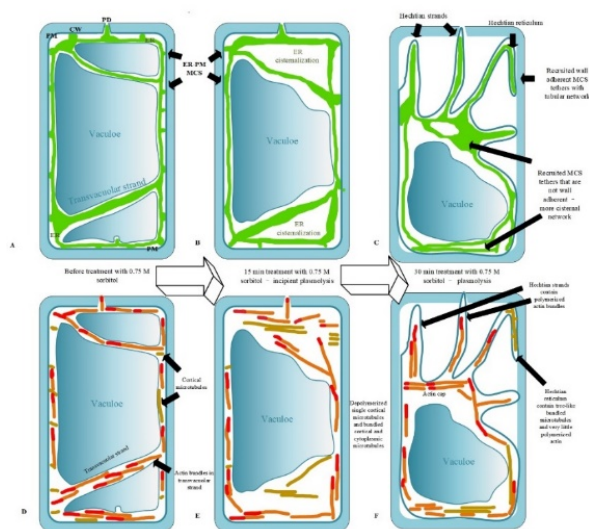


Figure 1 – The process of plasmolysis

According to the summary of previous research, the main changes caused by plasmolysis are mainly reflected in the following aspects:

**Osmotic regulation.** The relationship between osmosis and plasmolysis is that plasmolysis is the result of osmosis when cells are exposed to a hypertonic environment. Osmotic regulation is a fundamental mechanisms for maintaining turgor pressure, plant “hydroskeleton”, turgidity and shape of cells, tissues and organs. Osmoregulation mechanisms can help avoid ion toxicity and maintain water absorption by accumulating a large number of permeable cells and molecules binding to a large amount of water. The two types of osmotic pressure, organic solutes and inorganic ions, play a key role in the regulation of osmotic pressure. The distribution of permeable substances in plant species is different, and their osmoregulatory effects are also different.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  are the main inorganic ions of some halides under osmotic stress. These ions will promote plant water absorption and prevent damage caused by drought and salt stress, but their imbalance can cause metabolic problems.

**Plasmolysis cycle and modifications of the cytoskeleton.** During the plasmolysis cycle, the semipermeable membrane, plasma membrane, and tonoplast membrane are forced to adapt to the loss of water from the vacuole in a hypertonic solution (plasmolysis), or to the uptake of water until full expansion is restored (deplasmolysis). The duration of the process and the cell survival time depend on the plant material and solute solution. Research on the fine network structure of filiform actin in *Arabidopsis* hypocotyl cells labeled with GFP-ABD reveals that due to the high dynamic nature of the subcortical cytoplasm and the continuous flow of organelles within interphase cells, actin filaments need to adapt accordingly. Therefore, during plasmolysis, actin filaments can rapidly reorganize to accommodate the contracting protoplast. In interphase cells, plasmolysis (i.e., the disruption of the cell wall-plasma membrane-cortical cytoskeleton continuum) is expected to have the greatest impact on cortical microtubules, as they are tightly connected to the plasma membrane and play a role in the deposition of oriented cellulose microfibrils. During plasmolysis, actin microfilaments can rapidly reorganize to adapt to the contracting protoplast. The behavior of cortical actin fibers during plasmolysis has been expressed through plasma membrane integrity and protoplast volume regulation, thus the formation of a large number of cortical, subcortical, and endoplasmic reticulum (ER) actin fibers is necessary for regulating shape and volume during plasmolysis.

**Rearrangement of vacuoles and tonoplast caused by plasmolysis.** Hyperosmotic solution-induced plasmolysis significantly leads to a reduction in protoplast volume, which is attributed to the contraction of vacuoles. To understand the vacuoles in plasmolyzed cells, especially their detailed structure and dynamic changes, it is necessary to observe the structural rearrangement of the plasma membrane and tonoplast during plasmolysis. Based on the study of plasmolysis in BY-GV7 cells, immediately after the addition of the solution, protoplast contraction and detachment of the plasma membrane from the cell (i.e., plasmolysis) were observed. Confocal section estimates showed that the volumes of both protoplasts and vacuoles decreased to approximately half of their original volumes. In addition, the nucleus appeared to migrate slightly. During plasmolysis, some new oval-shaped tonoplast structures appeared within large vacuoles. The fluorescence intensity of these structures was approximately twice that of the outer tonoplast. The cell cross-sectional scanning images of plasmolyzed cells clearly demonstrated the continuous integrity of the tonoplast, with its folds and curves clearly visible. During deplasmolyzation, the cell returned to its normal morphology, the curling structure unfolded, and the position of the nucleus remained almost unchanged.

**Conclusion.** This article briefly describes the relationship between osmotic regulation and plasmolysis, as well as the changes that occur in various structures during plasmolysis. Research on plasmolysis helps us understand the mechanisms of signal transduction and stress adaptation within plant cells, as well as the changes in plant ultrastructure (such as the Hectian network) during these processes. Building on this research, we can conduct deeper research and exploration into signal transduction mechanisms, such as those of plant ion channels.

## References

1. De Vries, H. Eine Methode Zur Analyse Der Turgorkraft; éditeur non identifié, 1884.
2. Oparka, K. J. Plasmolysis: new insights into an old process / K. J. Oparka // *New Phytologist*. – 1994. – Vol. 126 (4). – P. 571–591.
3. Response of *Escherichia Coli* Growth Rate to Osmotic Shock / E. Rojas, J.A. Theriot, K. C. Huang // *Proc. Natl. Acad. Sci.* – 2014. – Vol. 111 (21). – P. 7807–7812.
4. Hypertonic conditions trigger transient plasmolysis, growth arrest and blockage of transporter endocytosis in *Aspergillus nidulans* and *Saccharomyces cerevisiae* / V. Bitsikas, M. Karachaliou, C. Gournas [et al.] // *Molecular Membrane Biology*. – 2011. – Vol. 28 (1). – P. 54–68.
5. Response mechanism of plants to drought stress / X. Yang, M. Lu, Y. Wang [et al.] // *Horticulturae*. – 2021. – Vol. 7 (3). – P. 50.
6. Chen, H. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity / H. Chen, J. G. Jiang // *Environmental Reviews*. – 2010. – Vol. 18 (NA). – P. 309–319.
7. Salt tolerant mechanisms in single-cell C4 species *Bienertia sinuspersici* and *Suaeda aralocaspica* (Chenopodiaceae) / J. Park, T. W. Okita, G. E. Edwards // *Plant Science*. – 2009. – Vol. 176 (5). – P. 616–626.
8. Regulation of plant responses to salt stress / S. Zhao, Q. Zhang, M. Liu [et al.] // *International journal of molecular sciences*. – 2021. – Vol. 22 (9). – P. 4609.
9. Serrano, R. Ion homeostasis during salt stress in plants / R. Serrano, A. Rodriguez-Navarro // *Current opinion in cell biology*. – 2001. – Vol. 13 (4). – P. 399–404.
10. Hyperosmotic stress-induced actin filament reorganization in leaf cells of *Chlorophyton comosum* / G. Komis, P. Apostolakis, B. Galatis // *Journal of experimental botany*. – 2002. – Vol. 53 (375). – P. 1699–1710.
11. Altered patterns of tubulin polymerization in dividing leaf cells of *Chlorophyton comosum* after a hyperosmotic treatment / G. Komis, Apostolakis, B. Galatis // *New Phytologist*. – 2001. – Vol. 149 (2). – P. 193–207.
12. Plasmolysis: loss of turgor and beyond / I. Lang, S. Sassmann, B. Schmidt [et al.] // *Plants*. – 2014. – Vol. 3 (4). – P. 583–593.
13. Domain-specific mechanosensory transmission of osmotic and enzymatic cell wall disturbances to the actin cytoskeleton / P. Wojtaszek, F. Baluška, A. Kasprowicz [et al.] // *Protoplasma*. – 2007. – Vol. 230 (3). – P. 217–230.
14. The plant cytoskeleton controls regulatory volume increase / Q. Liu, F. Qiao, A. Ismail [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*. – 2013. – Vol. 1828 (9). – P. 2111–2120.
15. Kutsuna, N. Morphometrical study of plant vacuolar dynamics in single cells using three-dimensional reconstruction from optical sections / N. Kutsuna, S. Hasezawa // *Microscopy research and technique*. – 2005. – Vol. 68 (5). – P. 296–306.
16. Three-dimensional reconstruction of tubular structure of vacuolar membrane throughout mitosis in living tobacco cells / N. Kutsuna, F. Kumagai, M. H. Sato [et al.] // *Plant and cell physiology*. – 2003. – Vol. 44 (10). – P. 1045–1054.
17. Activity-dependent fluorescent staining and destaining of living vertebrate motor nerve terminals / W. J. Betz, F. Mao, G. S. Bewick // *Journal of Neuroscience*. – 1992. – Vol. 12 (2). – P. 363–375.
18. Appearance of actin microfilament ‘twin peaks’ in mitosis and their function in cell plate formation, as visualized in tobacco BY-2 cells expressing GFP-fimbrin / T. Sano, T. Higaki, Y. Oda [et al.] // *The Plant Journal*. – 2005. – Vol. 44 (4). – P. 595–605.

**МОРФО-БИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ МИКРОЗЕЛЕНИ ПОРТУЛАКА  
ОГОРОДНОГО (*PORTULACA OLERACEA* L.) НА СОЛЕВОЙ СТРЕСС**

Абрашкина У. Я., Скрыпник Л. Н.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,  
г. Калининград, Российская Федерация  
e-mail: uabrashkina@gmail.com

*Настоящее исследование посвящено изучению влияния засоления на морфометрические показатели и синтез вторичных метаболитов фенольной природы в *Portulaca oleraceae* L. при культивировании в качестве микрозелени. Условия засоления создавали праймированием семян в растворе хлорида натрия с различными концентрациями (25 мМ; 50 мМ; 100 мМ; 150 мМ). Выявлены оптимальные концентрации NaCl: для максимальной биомассы микрозелени *P. oleracea* - 50 мМ, для максимального содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности - 150 мМ.*

Портулак огородный (*Portulaca oleracea* L.) – это представитель семейства Портулаковые (*Portulacaceae*), теплолюбивое травянистое суккулентное однолетнее растение с космополитическим распространением [2]. Портулак – одна из культур, привлекающая наибольшее внимание с момента открытия содержания в нем линолевой кислоты, α-линоленовой кислоты и различных антиоксидантных соединений. Его выращивание в неблагоприятных условиях вызывает стресс у растения, что приводит к повышению концентрации вторичных метаболитов, в том числе относящихся к нутрицевтическим соединениям и обеспечивающим питательную ценность данной культуры [2].

Микрозелень — это рассада трав и овощей, которую собирают на стадии развития двух семядольных листьев или иногда при появлении зачаточной первой пары настоящих листьев [6]. Время сбора микрозелени в литературе сильно разнится [12], по общим данным цикл роста составляет от 7 до 21 дня после прорастания, когда, несмотря на небольшой размер, они уже имеют интенсивный вкус, хрустящую текстуру, очень яркий цвет и, что самое важное, демонстрируют полезные свойства для здоровья человека. Микрозелень может быстро производить питательные вещества в ограниченных пространствах с минимальными ресурсами, предлагая удобное решение для разнообразия рациона и решения [9]. Эти характеристики и позволяют рассматривать микрозелень перспективным продуктом как для пищевой промышленности, так и для фармацевтического рынка [8].

Следует отметить, что содержание биологически активных соединений в растениях зависит от их развития (количества дней с момента посева) и от различных обработок или технологий. Так было показано, что обработка NaCl влияла на содержание фенольных соединений, антоцианов и флавонолов 10-дневных «ростков» белой и красной капусты [5, 6]. В более ранних источниках, изучающих микрозелень редиса, наблюдалось изменение антиоксидантной способности и общих фенолов в присутствии NaCl, и в зависимости от концентрации соли было зарегистрировано улучшение или, наоборот, уменьшение этих показателей [4]. Таким образом, умеренный солевой стресс может быть одним из эффективных способов улучшения полезных для здоровья соединений растительной пищи.

Целью настоящего исследования явилось изучение влияния солевого стресса на физиолого-биохимические параметры портулака огородного (*Portulaca oleracea* L.) сорта Парадокс, культивируемого в качестве микрозелени.

Методология проведения работы включала методы гидропонного культивирования с применением методик выращивания *P. oleracea* сорта Парадокс в качестве микрозелени; определения ростовых параметров и количественного содержания фенольных соединений, флавоноидов, гидроксикоричных кислот с использованием методов спектрофотометрии; а также оценку антиоксидантной активности по способности захватывать радикалы 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) и 2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолино-6-сульфоновой кислоты (ABTS) и восстанавливать Fe (III) в комплексе с 2,4,6-трипиридил-s-триазином

(FRAP) в, методы статистического анализа [3]. Условия засоления создавали праймированием семян в растворе хлорида натрия с различными концентрациями (25 мМ; 50 мМ; 100 мМ; 150 мМ) в течение 2-х суток. В дальнейшем семена помещали на коврики из 100% джутового волокна и проращивали в закрытых пластиковых контейнерах размером 18,5 см x 13 см x 5,5 см (длина x ширина x высота) в условиях полной темноты на протяжении 5 суток. По прохождению данного времени контейнеры открывали и выращивали микрозелень в течение 14 суток. Во время эксперимента поддерживались следующие условия: влажность 70%; день 22 °С, 16 ч; ночь 18 °С, 8 ч; фотосинтетически активное излучение 440 мкмоль (м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>). Всего в эксперименте использовали 15 контейнеров, по 3 повторности на концентрацию.

Солевой стресс на ранних этапах развития растения имеет ярко выраженный пагубный эффект. Поскольку микрозелень собирают молодой, у клеток растений нет достаточного времени для формирования устойчивости к стрессовым условиям. Это делает микрозелень более чувствительной и восприимчивой к стрессу, чем зрелые растения. Однако галофиты, к которым относится *P. oleracea*, имеют большую толерантность к соли, и выдерживают более высокие концентрации, по сравнению с привычными для выращивания микрозелени видами. У микрозелени *P. oleracea* при низких и средних концентрациях 25–50 мМ NaCl наблюдались увеличение листовой пластины и изменение цвета листа, по сравнению с контрольными растениями. При дальнейшем повышении концентрации NaCl наблюдалось практически полное изменение окраски листовой пластины с зеленого на красный цвет и резкое снижение ростовых показателей. При выращивании *P. oleracea* в качестве микрозелени оптимальной концентрацией для получения максимальной биомассы явилось 50 мМ NaCl (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Характерные морфологические изменения микрозелени *P. oleracea* после 19-дневного культивирования при различных концентрациях NaCl в среде

Максимальное содержание суммы фенольных соединений, флавоноидов и гидроксикоричных кислот наблюдалось в микрозелени при 150 мМ NaCl (42,16 ± 0,53 мг-экв. ГК/г СВ, 1,68 ± 0,05 мг-экв. рутина/г СВ, 8,61 ± 0,60 мг-экв. рутина/г СВ соответственно). В контрольных растениях эти показатели были в 1,6–1,8 раз ниже.

Самым главным преимуществом микрозелени считаются высокие показатели антиоксидантной активности. Хотя конкретные антиоксидантные профили различаются у разных видов и сортов микрозелени, результаты исследований показывают, что обычные представители микрозелени, такие как чечевица, брокколи, китайская капуста, фиолетовая редька и красная капуста, демонстрируют замечательный антиоксидантный потенциал, в первую очередь связанный с повышенным содержанием аскорбиновой кислоты в них [1].

Уровень антиоксидантной активности микрозелени *P. oleracea* был максимальным при 150 мМ NaCl (9,91–31,58 мг-экв. АК/г СВ).

Изученные нами материалы позволяют сделать вывод о том, что для портулака характерно накопление вторичных метаболитов фенольной природы при выращивании микрозелени. Но полученные нами данные о положительном влиянии солевого стресса на накопление соединений фенольной природы в микрозелени *P. oleracea* при высоких концентрациях (150 мМ NaCl) представлены впервые и ранее в литературе не встречались. В большинстве своем в литературе упоминаются низкие концентрации хлорида натрия, как фактор, влияющий на рост и антиоксидантную активность микрозелени (максимальные значения при концентрации 10 мМ NaCl в исследовании *Brassica oleracea* var. *capitata* [10], при 25 мМ – в исследовании пшеницы [7], при 50 мМ – в исследовании *Brassica oleracea* var. *Botrytis* [11]), но так как портулак является галофитом, и как следствие лучше адаптируется к высокому содержанию NaCl в среде, полученные нами данные о высоких показателях данного параметра при максимальном засолении среды (150 мМ NaCl) являются обоснованными.

Учитывая питательные преимущества *P. oleracea*, особенно в виде микрозелени, отличающейся с высоким содержанием биоактивных веществ и высокой антиоксидантной активностью, данный вид имеет большой потенциал для использования в пищевой и фармацевтической промышленности.

#### Список литературы

1. A comprehensive review on the antioxidant activities and health benefits of microgreens: current insights and future perspectives / T. E. Tallei, B. J. Kepel, H. I. S. Wungouw [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 59. – №. 1. – P. 58–71.
2. Bioactive compounds of purslane (*Portulaca oleracea* L.) according to the production system / C. O. Montoya-García, R. García-Mateos, E. Becerra-Martínez [et al.] // Scientia horticulturae. – 2023. – Vol. 308. – P. 111584.
3. Effect of salinity stress on phenolic compounds and antioxidant activity in Halophytes *Spergularia marina* (L.) Griseb. and *Glaux maritima* L. cultured *in vitro* / A. Pungin, L. Lartseva, V. Loskutnikova [et al.] // Plants. – 2023. – Vol. 12. – №. 9. – P. 1905.
4. Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts / G. Yuan, X. Wang, R. Guo, Q. Wang // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 121. – №. 4. – P. 1014–1019.
5. Effects of seed priming, salinity and methyl jasmonate treatment on bioactive composition of *Brassica oleracea* var. *capitata* (white and red varieties) sprouts / I. Hassini, N. Baenas, D. A. Moreno [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2017. – Vol. 97. – №. 8. – P. 2291–2299.
6. Improvement of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) growth and quality by KCl seed priming and methyl jasmonate under salinity stress / I. Hassini, M. C. Martinez-Ballesta, N. Boughanmi [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 226. – P. 141–151.
7. Effect of salinity stress on bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract under organic cultivation conditions / M. Z. Islam, B. J. Park, Y. T. Lee // International Journal of Biological Macromolecules. – 2019. – Vol. 140. – P. 631–636.
8. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the *Brassicaceae* family / I. Marchioni, M. Martinelli, R. Ascrizzi [et al.] // Foods. – 2021. – Vol. 10. – №. 2. – P. 427.
9. Nutritional quality profiles of six microgreens / S. Balik, F. Elgudayem, H. Y. Dasgan [et al.] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – №. 1. – P. 6213.
10. Patras, A. Effects of development stage and sodium salts on the antioxidant properties of white cabbage microgreens / A. Patras // Agriculture. – 2021. – Vol. 11. – №. 3. – P. 200.
11. The influence of different LED light treatments on the growth and salt stress tolerance of cauliflower microgreens *in vitro* / S. Pavlović, Z. Girek, J. Damnjanović [et al.] // Horticulturae. – 2024. – Vol. 10. – №. 7. – P. 672.
12. Бурак, Л. Ч. Антиоксидантная активность микрозелени, потенциал использования. Обзор предметного поля / Л. Ч. Бурак, В. И. Карбанович // Научное обозрение. Биологические науки. – 2023. – № 4. – С. 58–70.

## ВИТАМИННЫЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ИНТРОДУЦИРУЕМЫХ СОРТОВ *LONICERA CAERULEA* L. В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Авраменко С. Н., Лапченко Е. А., Онуфрейчик В. А.

ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: avramenko@cbg.org.by

Приведены результаты биохимического состава витаминного комплекса плодов новых интродуцируемых сортов жимолости синей. Установлено, что наибольшее количество водорастворимых витаминов (тиамина, рибофлавина, пиридоксина в виде их гидрохлоридов и аскорбиновой кислоты) содержится в плодах жимолости синей сорта *Zojka*, тогда как минимальным параметром накопления характеризовался сорт *Aurora*.

Введение. В настоящее время особую значимость в ягодоводстве Республики Беларусь занимает выращивание нетрадиционных плодовых и ягодных растений с повышенным содержанием биологически активных соединений с высокой антиоксидантной активностью, которые могут найти применение в качестве природных сырьевых источников для производства пищевых продуктов, косметических средств и лекарственных препаратов.

Особое место в ряду этих растений занимает жимолость синяя (*Lonicera caerulea* L.), произрастающая в основном в Северном полушарии, характеризующаяся высоким содержанием в плодах широкого спектра активных веществ, включая биофлаваноиды, витамины и микроэлементы. Она является одной из наиболее перспективных ягодных культур [1], что обусловлено долговечностью насаждений, их устойчивостью к весенним заморозкам и высокой зимостойкостью.

Водорастворимые витамины представляют собой группу органических соединений, необходимых для жизнедеятельности организма и участвующих в множестве метаболических реакций. Основными представителями этой группы являются витамины В-комплекса и витамин С [2].

Поскольку в настоящее время в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» осуществляется комплексная оценка потенциала новых интродуцируемых сортов жимолости синей, пополнивших коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси, то представлялось целесообразным провести сравнительное исследование уровня витаминной ценности их плодов по комплексу биохимических показателей.

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2023 г. в Ганцевичском районе в коллекционных насаждениях лаборатории интродукции и технологии нетрадиционных ягодных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Посадки опытных растений, оборудованные системой капельного полива, были созданы двулетними корнесобственными саженцами в 2018 г., высаженными по схеме 2,0×1,5 м на дерново-подзолистой почве, подстилаемой рыхлым песком с рН<sub>(H2O)</sub>=4,8.

Объектами исследования являлись интродуцируемые сорта жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) – *Aurora*, *Honeybee*, *Indigo Gem*, *Wojtek*, *Zojka* и районированный сорт *Ленинградский великан* (регистрационный номер 2011290 от 2012 года).

В растительном материале было определено содержание водорастворимых витаминов – тиамина, рибофлавина и пиридоксина в виде их гидрохлоридов по методике Д. К. Шапиро [2], аскорбиновой кислоты – по методу Ю. Я. Тильманса [3]. Для удаления пигментов, затрудняющих титрование индофенолом, использовали хлороформ, с последующим его удалением из системы. Для стабилизации В-витаминного комплекса использовали буферные комплексы [2].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по методике [4], с использованием программы *Microsoft Office Excel 2007*. Сравнение исследуемых сортов

жимолости синей по интегральному уровню ценности ее плодов осуществляли при помощи способа ранжирования объектов [5].

Результаты и обсуждение. Результаты определения содержания витаминов в сухой массе плодов исследуемых сортов жимолости, приведенные в табл. 1, выявили следующие диапазоны варьирования в сортовом ряду параметров их накопления.

Таблица 1 – Усредненное содержание водорастворимых витаминов в сухой массе плодов *Lonicera caerulea* L. в условиях сезона 2023 г.

| Сорт                      | B1<br>(Тиамин), мкг/<br>100 г | B2<br>(Рибофлавин), мкг/<br>100 г | B6<br>(Пиридоксин),<br>мкг/ 100 г | C<br>(Аскорбиновая кислота),<br>мг/100 г |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| <i>Ленингр. вел. (к)</i>  | 21,0*                         | 22,0*                             | 140,0*                            | 291,8*                                   |
| <i>Аврора</i>             | 12,0*                         | 10,0*                             | 171,0*                            | 254,9*                                   |
| <i>Зойка</i>              | 74,0*                         | 61,0*                             | 111,0*                            | 349,3*                                   |
| <i>Wojtek</i>             | 80,0*                         | 72,0*                             | 753,0*                            | 368,2*                                   |
| <i>Indigo gem</i>         | 93,0*                         | 21,0*                             | 797,0*                            | 261,8*                                   |
| <i>Honey bee</i>          | 16,0*                         | 17,0*                             | 150,0*                            | 330,0*                                   |
| <i>HCP<sub>0,05</sub></i> | 1,5                           | 1,2                               | 7,7                               | 12,2                                     |

\* – Статистически значимые по *HCP<sub>0,05</sub>* различия с эталонным сортом при  $p < 0,05$

Содержание витаминов в виде их гидрохлоридов (в мкг/100 г) находилось в широком диапазоне и соответствовали области значений 12,0–93,0 для тиамина, рибофлавина – 10,0–72,0, пиридоксина – 111,0–797,0, аскорбиновой кислоты (в мг/100 г) 254,9–368,2.

Таблица 2 – Относительные различия интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* с районированным сортом *Ленинградский великан* по характеристикам биохимического состава плодов, %

| Сорт              | B1<br>(Тиамин), мкг/<br>100 г | B2<br>(Рибофлавин),<br>мкг/ 100 г | B6<br>(Пиридоксин),<br>мкг/ 100 г | C<br>(Аскорбиновая кислота),<br>мг/100 г |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| <i>Аврора</i>     | -42,9                         | -54,5                             | +22,1                             | -12,6                                    |
| <i>Зойка</i>      | +252,4                        | +172,3                            | -20,7                             | +19,7                                    |
| <i>Wojtek</i>     | -73,8                         | +227,3                            | +437,9                            | +26,2                                    |
| <i>Indigo gem</i> | +324,9                        | -4,5                              | +469,3                            | -10,3                                    |
| <i>Honey bee</i>  | -23,8                         | -22,7                             | +7,14                             | +13,1                                    |

Нетрудно убедиться, что наиболее значительным накоплением в плодах жимолости витаминов группы В характеризовались сорта *Wojtek* и *Indigo gem*, тогда как максимум накопления аскорбиновой кислоты был у сорта *Wojtek*, что на 26,2 % выше значения эталонного сорта *Ленинградский великан* (см. табл. 2).

Таблица 3 – Относительные различия в витаминном составе плодов новых интродуцируемых сортов *Lonicera caerulea* с районированным сортом *Ленинградский великан*, %

| Сорт              | Положительные<br>(+) | Отрицательные<br>(-) | Положительные /<br>отрицательные |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| <i>Аврора</i>     | 22,1                 | 110,0                | 0,2                              |
| <i>Зойка</i>      | 444,4                | 20,7                 | 21,5                             |
| <i>Wojtek</i>     | 691,4                | 73,8                 | 9,4                              |
| <i>Indigo gem</i> | 794,2                | 14,8                 | 53,7                             |
| <i>Honey bee</i>  | 20,24                | 46,5                 | 0,4                              |

Наименьшим параметром накопления тиамина, рибофлавина и аскорбиновой кислоты характеризовался сорт *Aurora*, тогда как содержание пиридоксиды было на 22,1 % выше эталона сравнения. Сорта *Аврора* и *Honey bee* уступали сорту *Ленинградский великан* по совокупности биохимических показателей по накоплению витаминов соответственно на 0,8 и 0,6 %. Максимальный уровень накопления водорастворимых витаминов был установлен у сорта *Indigo gem* (см. табл. 3), что превысило контрольный вариант на 53,7 %.

Закключение. В результате сравнительного исследования содержания водорастворимых витаминов (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> и С) в плодах впервые интродуцируемых в Беларуси сортов жимолости синей был выявлен таксономический в ряду снижения их витаминной ценности: *Zojka* > *Indigo gem* > *Wojtek* > *Ленинградский великан* > *Honey bee* > *Aurora*.

Установлено, что лидирующее положение в таксономическом ряду раннеспелых сортов по обеспеченности плодов водорастворимыми витаминами принадлежало сорту *Zojka*, тогда как минимальное накопление происходило у сорта *Aurora*.

#### Список литературы

1. Агрохимия / Под ред. В. Г. Минеева. – М.: «Агрохимэкодружество», 2017. – 854 с.
2. Исследование химического состава растительного сырья: учеб. пособие / В. М. Ушанова, О. И. Лебедева, А. Н. Девятловская / под ред. С. М. Репяха. - Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2004. – 240 с.
3. Пищевая химия: учебник для студентов вузов: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения / В. С. Гамаюрова, Л. Э. Ржечицкая. — М. : «КДУ», «Добросвет», 2018. – 496 с.
4. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с.
5. Способ ранжирования таксонов растения / Ж. А. Рупасова [и др.] / Мн. : Патент на изобретение №17648 от 08.07.2013.

**ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ НА РОСТ ЧУБУШНИКА ВЕНЕЧНОГО (*PHILADELPHUS CORONARIUS*): СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ЭКСПРЕСС-ТЕСТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКЛОНОВ**Алексеева М. И.<sup>1</sup>, Шевцова А. А.<sup>1</sup>, Черныш М. А.<sup>1</sup>, Соколик А. И.<sup>1</sup>, Демидчик В. В.<sup>2</sup><sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: [aliakseyevami@bsu.by](mailto:aliakseyevami@bsu.by)<sup>2</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Создана экспериментальная система для экспресс-тестирования влияния засоления на рост и развитие микроклонов древесных растений на примере чубушника венечного (*Philadelphus coronarius*). Получена быстрорастущая культура *in vitro* и оптимизированы методы микрочеренкования данного вида. Показано, что обработка NaCl подавляет рост корней *Philadelphus coronarius* при обработке NaCl в концентрации свыше 25 мМ, а побегов свыше 50 мМ. Корневая система имела более высокую чувствительность к NaCl, что указывает на первичность корневых эффектов при засолении.

Засоление почв является одним из важнейших неблагоприятных факторов среды, имеющим как антропогенное, так и естественное происхождение. Засоленными считаются почвы, уровень NaCl в почвенном растворе которых превышает 40 мМ [1]. Засоление вызывает острый ионный дисбаланс вследствие деполяризации мембраны и потери ионов калия, что приводит к нарушению ключевых физиологических функций растения, снижению скорости роста и патологической модификации развития растительного организма [2]. Основными причинами засоления почв являются засуха, использование для полива воды, содержащей высокие уровни солей, и недостаточный дренаж почв в жаркий период [1, 2]. В нашей стране в условиях умеренного климата «классическое» засоление почв в последние годы демонстрирует опасную тенденцию к усилению, но пока не относится к важнейшим стрессовым факторам для вегетации. В то же время, засоление почв, вызываемое использованием антигололедных обработок, является для наших климатических условий существенным неблагоприятным фактором, повреждающим насаждения вдоль дорог и городскую растительность [3]. В данном случае развивается ряд негативных явлений, повреждающих организм растения, включая токсичное повышение уровня NaCl в тканях при прямом попадании на органы растений солевых брызг и тумана, а также, увеличение концентрации NaCl в почвенном растворе. Оба эффекта требуют исследования, в особенности, в воспроизводимых тестах и стандартизированных физико-химических условиях. В этом отношении идеальными являются условия культуры *in vitro*, позволяющие производить эксперименты по выявлению влияния засоления в лабораторных условиях с большими тестируемыми выборками растений (высокой статистикой) [4]. Пока для древесных растений подобных экспериментальных систем не развито. Целью настоящей работы являлось создать и апробировать экспериментальную систему, позволяющую производить экспресс-тестирование влияния засоления, вызываемого использованием антигололедных обработок, на рост и развитие микроклонов декоративных древесных растений в условиях *in vitro*. В качестве модельного объекта были использованы микроклоны важного для городского и придорожного озеленения кустарника – чубушника венечного (*Philadelphus coronarius*). В работе была получена быстрорастущая культура *Philadelphus coronarius*, оптимизированы условия ее выращивания и развита техника микрочеренкования данного растений в условиях *in vitro*.

Для проведения эксперимента была получена культура микрорастений *Philadelphus coronarius* (сорт Aureus) (рисунок). Для этого после предварительной выгонки черенков было осуществлено введение в культуру верхушечными сегментами побегов с использованием в качестве стерилизующих агентов мертиолята натрия (0,02 %) и хлорида ртути HgCl<sub>2</sub> (0,1%) в течение 10 минут. Первичная культура подвергалась дальнейшему субклонированию и

поддерживалась в лаборатории (10 растений в одном культивационном сосуде). Питательной средой для выращивания растений служила среда Мурашиге и Скуга (Duchefa, Нидерланды) с добавкой 3 % сахарозы и 0,9 % микробиологического агара. Солевая обработка производилась четырехкратно (на 7, 14, 21 и 28 сут после субкультивирования) путем нанесения раствора NaCl объемом 500 мкл (приготовленного на основе дистиллированной воды) непосредственно в среду культивирования. В качестве контроля выступала такая же обработка стерильной дистиллированной водой. Результаты регистрировались на 35 сут культивирования (рисунок 1).

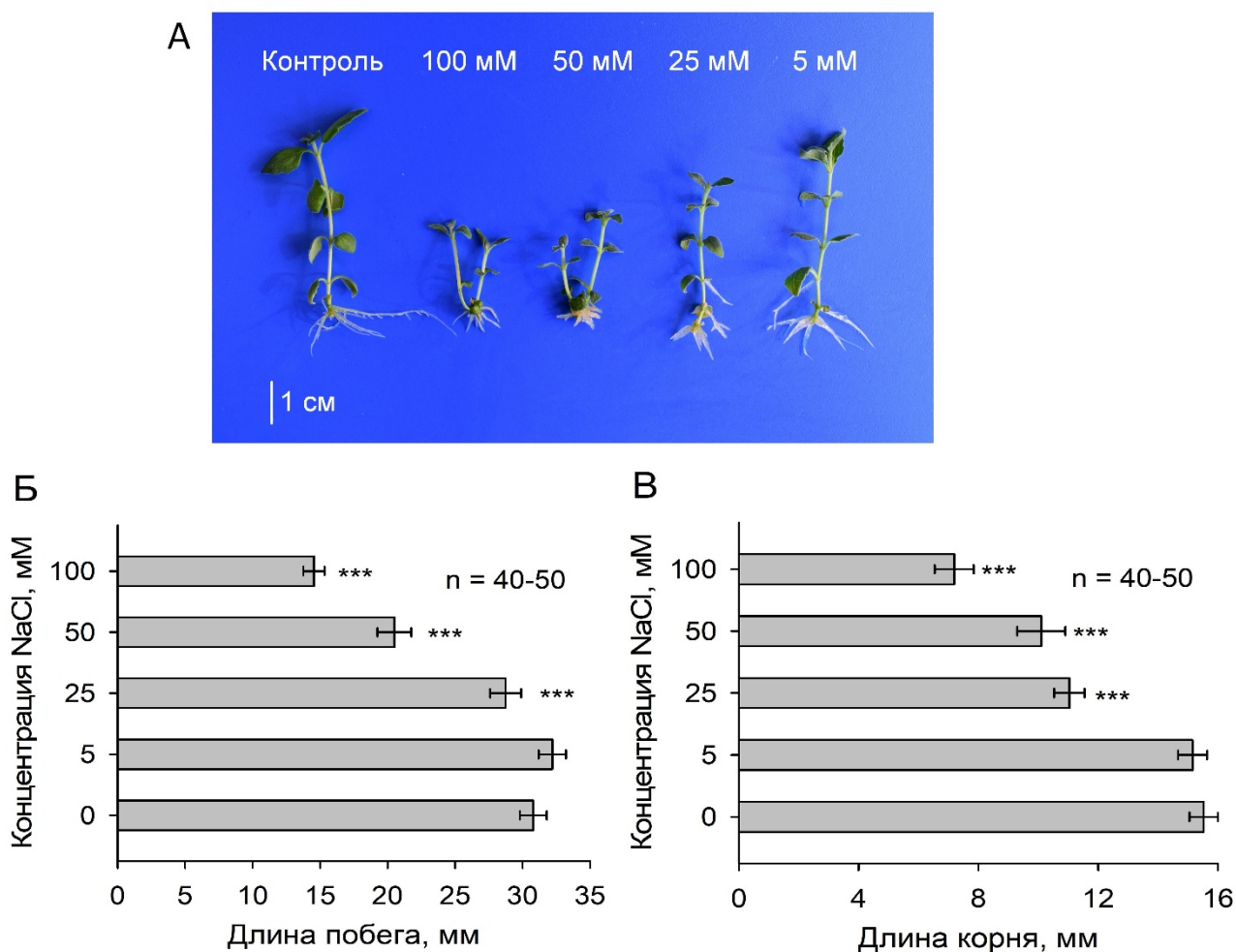


Рисунок 1 – Воздействие NaCl в концентрации 5-100 мМ на рост растений *Philadelphus coronarius* (сорт Augus) в культуре *in vitro*: внешний вид вегетативных микроклонов на 35 сут выращивания (а), средние значения длины побегов (б) и корней (в) на фоне различных уровней NaCl в среде ( $\bar{X} \pm Sx$ ;  $n=40-50$ ). Статистические параметры: \*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,001$ , \*\*\*  $p < 0,0001$  (t-критерий Стьюдента)

В ходе работы было показано, что эффект NaCl, имитирующий антигололедную обработку, проявлялся в значительном изменении роста побегов чубушника венечного в культуре *in vitro* при уровнях NaCl свыше 50 мМ (рисунок 1, панель Б). Так, в контроле длина побега составляла  $30,8 \pm 0,99$  мм, при обработке 50 мМ NaCl –  $21,5 \pm 1,25$  мм, а при обработке 100 мМ NaCl –  $14,5 \pm 0,79$  мм. Растворы NaCl в концентрации 5 и 25 мМ NaCl не оказывали ингибирующего воздействия на рост побегов. Это указывает на то, что данный вид (и использованный сорт) обладает обычной для высших растений границей токсичности NaCl, т.е. является типичным гликофитом. Рост корневой системы подавлялся сильнее, чем рост побега (рисунок 1, панель В). Для корней различия были статистически значимыми уже при концентрации 25 мМ NaCl ( $11,4 \pm 0,50$  мм, при  $15,5 \pm 0,48$  мм в контроле). Примечательно, что рост побегов *Philadelphus coronarius* незначительно стимулировался под действием

5 мМ NaCl, что, вероятно, было связано с феноменом гормезиса, вызываемого NaCl у большинства высших растений.

Таким образом, было показано, что имитация антигололедных обработок в виде прямого нанесения NaCl-содержащих растворов на ткани микроклонов чубушника венечного приводит к угнетению роста побегов (> 50 мМ NaCl) и корней (> 25 мМ NaCl). В ходе работы была разработана экспериментальная модель анализа эффекта NaCl на древесные растения в лабораторных условиях и создана технология экспресс-тестирования влияния городского и придорожного засоления на декоративные растений. Продемонстрирована высокая эффективность использования культуры целых растений *in vitro* для тестирования устойчивости древесных растений к засолению и значительный потенциал данного подхода для экофизиологии растений. Дальнейшие исследования в данной области будут направлены на расширение ассортимента тестируемых видов растений путем их введения в быстрорастущую культуру *in vitro*, а также разработку биотехнологических методов повышения устойчивости растений к антигололедным солевым обработкам.

*Исследование было проведено в рамках Гранта Министерства образования Республики Беларусь на выполнение научно-исследовательских работ докторантов, аспирантов, соискателей и студентов (№ Госрегистрации: 20250896), а также отдельного проекта НАН Беларуси (№ Госрегистрации: 20250896).*

#### Список литературы

1. Munns, R. Mechanisms of salinity tolerance / R. Munns, M. Tester // Annual Review of Plant Biology. – 2008. – Vol. 59. – P. 651–681.
2. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K<sup>+</sup>-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment / V. Demidchik, D. Straltsova, S. Medvedev [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2014. – Vol. 65. – P. 1259–1270.
3. Судник, А. Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси / А. Судник, И. Вознячук, Д. Дубовик // Наука и инновации. – 2023. – Т. 1, №1. – С. 72–78.
4. Микроклональное размножение растений / В. Демидчик, М. Черныш, Дитченко [и др.] // Наука и инновации. – 2019. – Т. 6, №196. – №6 (196). – С. 4–11.

## ВЫХОДЯЩИЙ ПОТОК ЭЛЕКТРОЛИТОВ ИЗ КЛЕТОК КОРНЯ *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) НЕУНН. ОПОСРЕДОВАН ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ РЕДОКС-РЕГУЛИРУЕМЫХ КАЛИЕВЫХ КАНАЛОВ GORK И АНИОННЫХ КАНАЛОВ ALMT1

Гриусевич П. В.<sup>1</sup>, Самохина В. В.<sup>1</sup>, Михалёва Т. Д.<sup>1</sup>, Кошель С. А.<sup>1</sup>, Королевич А. Э.<sup>1</sup>,  
Житомирская А. Л.<sup>1</sup>, Николаенок В. А.<sup>1</sup>, Зайцева В. О.<sup>1</sup>, Демидчик В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: hryvusevich@bsu.by

<sup>2</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: demidchik@botany.by

В настоящем исследовании продемонстрировано, что выходящий поток электролитов из клеток корня *A. thaliana* при воздействии смеси, генерирующей гидроксильные радикалы, опосредован функционированием наружу-выпрямляющих K<sup>+</sup>-каналов GORK, обладающих АФК-чувствительным центром – аминокислотой цистеин по 151 положению, и анионных каналов ALMT1, обеспечивающих транспорт малата, цитрата и аскорбата.

Выходящий поток / отток электролитов является одной из первичных реакций высших растений на стрессовые воздействия, такие как засоление, засуха, патогенные атаки, окислительный стресс, воздействие тяжелых металлов, ультрафиолетовое излучение и др. В последние годы отток электролитов рассматривается как маркерная реакция, демонстрирующая устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям [1]. На сегодняшний день механизм выхода электролитов изучен недостаточно. Литературные данные указывают на то, что реакция оттока электролитов опосредована функционированием ионных каналов плазматической мембраны, сопровождается образованием активных форм кислорода (АФК), приводя к потере K<sup>+</sup> и выходу анионов [2; 3]. Показано, что редокс-регулируемый наружу-выпрямляющий K<sup>+</sup>-канал Guard cell Outward-Rectifying K<sup>+</sup> channel (GORK) многократно снижает отток K<sup>+</sup> при стрессе [3; 4]. Однако, остается неизвестным механизм его активации. Ранее на близком GORK канале Stelar K<sup>+</sup> Outward-Rectifying channel (SKOR) было показано наличие в его структуре АФК-сенсора – аминокислотного остатка цистеин по 168 положению [5]. В представленной работе с использованием техники локальной фиксации потенциала была протестирована научная идея, согласно которой аминокислота цистеин по 151 положению в канале GORK является сенсором к АФК. Для балансировки заряда на мембране выходящий поток K<sup>+</sup> сопровождается оттоком анионов из клеток [1; 2]. У высших растений в цитоплазме и вакуоли доминируют органические анионы, такие как малат, цитрат, сукцинат, оксалоацетат, аскорбат и др. [6]. Остается неясным, какие анионные каналы обеспечивают транспорт данных ионов в клетках корня при стрессе. Согласно литературным данным, анионный канал ALuminum-activated Malate Transporter 1 (ALMT1) отвечает за отток малата из клеток корня *Triticum aestivum* L. при воздействии Al<sup>3+</sup> [7]. Ген, кодирующий ALMT1, обнаружен во всех известных геномах высших растений. Тем не менее, универсальность ALMT1 в качестве системы выхода различных анионов не подтверждена. В представленном исследовании было протестировано предположение, что ALMT1 может транспортировать и другие органические анионы.

Материалы и методы исследования. В работе использовались 7-12-дневные проростки *A. thaliana* экотипов Columbia-0 (Col-0), Wassilewskija (WS-0), а также нокаутных линий: *gork1-1* (нефункционален ген, кодирующий наружу-выпрямляющий K<sup>+</sup>-канал GORK), Компл.*gork1-1* (*gork1-1* с возмещенным K<sup>+</sup>-каналом GORK), Сер.-151 (*gork1-1* с возмещенным K<sup>+</sup>-каналом GORK с заменой аминокислоты цистеин на серин по 151 положению), *almt1* (нефункционален ген, кодирующий наружу-выпрямляющий анионный канал ALMT1). Семена различных экотипов *A. thaliana* и трансгенных линий по гену Gork

были предоставлены профессором Инго Дреером, нокаутная линия *almt1* – профессором Стивенем Таерманом. *A. thaliana* культивировались в стерильных условиях на среде Мурасиге и Скуга [8]. Гидроксил-генерирующая смесь (ГГС) включала 1 мМ  $\text{Cu}^{2+}$ , 1 мМ L-аскорбиновой кислоты, 1 мМ  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Протопласты изолировались с использованием целлюлолитических и пектолитических ферментов из измельченных корней согласно ранее описанному протоколу [8]. Регистрация трансмембранных токов осуществлялась при помощи техники пэтч-кламп в конфигурации целая клетка [4].

Основные результаты и их обсуждение. Анализ выходящих  $\text{K}^+$ -токов у растений *A. thaliana* дикого типа (экотип WS-0) продемонстрировал наличие быстро- и медленно-активирующихся компонент в наружу-направленной проводимости плазматической мембраны. Введение ГГС в наружный раствор приводило к увеличению медленно-активирующейся компоненты выходящего тока и незначительному росту быстро-активирующихся токов во всех протестированных протопластах. Наружу-направленная проводимость снижалась при замене калия на блокатор  $\text{K}^+$ -каналов ТЭА<sup>+</sup> в составе пипеточного раствора. Это указывает на то, что в отток  $\text{K}^+$  при воздействии  $\text{HO}^\bullet$  вовлечены ТЭА<sup>+</sup>-чувствительные  $\text{K}^+$ -селективные каналы, которые, как было показано ранее, кодируются геном *Gork* и локализованы в плазматической мембране ризодермы [4]. Для установления группы ионных каналов, обеспечивающих отток  $\text{K}^+$  при окислительном стрессе, была проведена серия электрофизиологических тестов на линии *gork1-1*. Анализ ионных токов через плазматическую мембрану протопластов, выделенных из клеток корня данной линии, в контрольных условиях продемонстрировал наличие только быстрой компоненты тока. Редукция медленной части тока свидетельствует об отсутствии активности GORK, который отличается медленной активацией. Мгновенная компонента тока, обусловленная активацией неселективных катионных каналов, была сопоставима с компонентой GORK. Введение ГГС в наружный раствор не приводило к модификации ионных токов через плазматическую мембрану у *gork1-1*. В работе был проведен анализ проницаемости плазматической мембраны у двух линий растений *A. thaliana* с возвращенным нативным  $\text{K}^+$ -каналом GORK. В контрольных условиях у линий Компл.*gork1-1* и растений *A. thaliana* дикого типа регистрировались сходные ионные проводимости. Наружу-направленная проводимость у линий Компл.*gork1-1* в контроле состояла главным образом из быстрой компоненты тока. Время-зависимая компонента не была зарегистрирована. Введение в наружный раствор ГГС приводило к росту наружу-направленной проводимости и появлению медленной (время-зависимой) компоненты тока. Были проанализированы ионные токи через плазматическую мембрану клеток корня *A. thaliana* трех линий Сер.-151. Замена цистеина на серин приводила к снижению чувствительности GORK к АФК. Воздействие ГГС не приводило к активации наружу-выпрямляющего  $\text{K}^+$ -тока при деполяризации плазматической мембраны у линий Сер.-151. В целом, характеристики ионных токов у линий с модифицированными каналами GORK были сходны с линией *A. thaliana gork1-1*.

С использованием техники пэтч-кламп был проведен анализ проницаемости плазматической мембраны клеток корня *A. thaliana* (экотип Col-0) к органическим анионам. При введении в пипеточный раствор 40 мМ малата регистрировались высокие значения отрицательного тока, соответствующего выходу анионов, которые снижались в 5 раз при добавлении блокатора анионных каналов 9-антраценкарбоновой кислоты (9-АЦ). Малатные токи обладали быстрой кинетикой активации, слабой потенциал-зависимостью, что свидетельствует о вероятном вовлечении анионных каналов семейства ALMT в выход малата из клеток корня. Дальнейшие эксперименты были направлены на получение доказательства участия функционального ALMT1 во внутрь-направленной анионной проводимости клеток корня. Были исследованы токи, ответственные за выход малата через плазматическую мембрану клеток корня нокаутной линии *Atalmt1*. У данных растений значения малатного тока были приблизительно в 5 раз ниже по сравнению с растениями дикого типа.

Полученные данные указывают на то, что продукты гена *Almt1* участвуют в выходе малата из клеток корня *A. thaliana*. Проанализирована проницаемость клеток корня *A. thaliana* к аскорбату. При добавлении в ПР 40 мМ L-аскорбата был зарегистрирован высокий отрицательный ток, который снижался приблизительно в 2 раза при действии 1 мМ 9-АЦ. У линии *A. thaliana*, лишенной канала ALMT1, регистрировался ток аскорбата приблизительно в 3 раза ниже по сравнению с величиной такого же тока у растений дикого типа. Таким образом, было впервые установлено, что ALMT1 обеспечивает транспорт аскорбата из клеток корня *A. thaliana* во внешнюю среду. Ранее данный механизм транспорта аскорбата из клеток корня высших растений не был известен. В ходе анализа проницаемости ALMT к цитрату были выявлены 2 группы протопластов, отличающиеся по селективности к данному аниону. В первой группе клеток (2/3) отрицательный ток был ниже приблизительно в 6 раз по сравнению с второй группой (1/3). Добавление в пипеточный раствор 1 мМ 9-АЦ приводило к снижению анионного тока приблизительно в 4,5 раза. Биофизические свойства токов цитрата были сходны с токами малата, что указывает на вероятное участие ALMT1 в выходе цитрата из клеток корня. В растениях *almt1* величина тока цитрата была приблизительно в 7,5 раза ниже, чем у растений дикого типа. Таким образом, полученные данные указывают на то, что ALMT1 ответственен за отток цитрата из клеток корня *A. thaliana*. Установлено, что плазматическая мембрана клеток корня *A. thaliana* обладает низкой проницаемостью для фумарата, пропионата и глюконата. Зарегистрированные анионные токи были ниже приблизительно в 3 раза по сравнению с токами, опосредованными выходом малата из клеток. Токи данных анионов характеризовались быстрой кинетикой активации и слабой потенциал-зависимостью, что указывает на то, что плазматическая мембрана клеток ризодермы *A. thaliana* пропускала очень небольшие количества данных органических анионов, вероятно, вследствие работы ALMT-подобных анионных каналов.

*Работа была выполнена в рамках заданий БРФФИ Беларуси Б25М-044 («Установление роли K<sup>+</sup>-каналов в устойчивости высших растений к УФ-излучению»); Б24-060 («Роль транспортеров малата в устойчивости высших растений к высоким уровням тяжелых металлов и алюминия в среде»).*

#### Список литературы

1. Demidchik, V. Mechanisms and physiological roles of K<sup>+</sup> efflux from root cells / V. Demidchik // J. Plant Physiol. – 2014. – Vol. 171. – P. 696–707.
2. Early copper-induced leakage of K<sup>+</sup> from Arabidopsis seedlings is mediated by ion channels and coupled to citrate efflux / A. S. Murphy [et al.] // Plant Physiol. – 1999. – Vol. 121. – P. 1375–1382.
3. Demidchik, V. The role of ion disequilibrium in induction of root cell death and autophagy by environmental stresses / V. Demidchik, E. V. Tyutereva, O. V. Voitsekhovskaja // Funct. Plant Biol. – 2018. – Vol. 45. – P. 28–46.
4. Arabidopsis root K<sup>+</sup> efflux conductance activated by hydroxyl radicals: single-channel properties, genetic basis and involvement in stress-induced cell death / V. Demidchik [et al.] // J. Cell Sci. – 2010. – Vol. 123. – P. 1468–1479.
5. A minimal cysteine motif required to activate the SKOR K channel of Arabidopsis by the reactive oxygen species H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / C. Garcia-Mata [et al.] // J. Biol. Chem. – 2010. – Vol. 285, № 38. – P. 29286–29294.
6. Anion channels in plant cells / H. Kollist [et al.] // FEBS J. – 2011. – Vol. 278. – P. 4277–4292.
7. A wheat gene encoding an aluminum-activated malate transporter / T. Sasaki [et al.] // Plant J. – 2004. – Vol. 37. – P. 645–653.
8. Demidchik, V. Sodium fluxes through non-selective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from Arabidopsis thaliana roots / V. Demidchik, M. Tester // Plant Physiol. – 2002. – Vol. 128, № 2. – P. 379–387.

**ИНДУЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ НАНОКОМПОЗИТА ХИТ-AG В СОЧЕТАНИИ С  
*BACILLUS SUBTILIS* 47 НА АКТИВНОСТЬ ГЕНОВ PR-БЕЛКОВ У РАСТЕНИЙ  
КАРТОФЕЛЯ ПРИ ВИРУСНОМ ЗАРАЖЕНИИ**

Еловская Н. А., Рыбинская Е. И.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
e-mail: yalousskaya92@mail.ru

*Аннотация.* Изучен синергетический эффект нанокompозита хитозан-серебро (НК Хит-Ag5) и *Bacillus subtilis* 47 в отношении Y вируса картофеля. Обработка растений картофеля исследуемыми составами достоверно снижала степень инфицированности листьев, при этом использование смеси НК Хит-Ag5 с бактериями способствовало подавлению распространения Y вируса. Выбранные формуляции нанокompозита в сочетании с *Bacillus subtilis* 47 способствовали увеличению экспрессии генов защитных белков у здоровых растений, что, вероятно, связано с ограничением распространения Y вируса в растительных тканях у зараженных растений и уменьшением транскрипционной активности генов стрессовых белков.

Неблагоприятные условия окружающей среды снижают естественную резистентность растительных организмов, повышая их восприимчивость к вирусным патогенам. Это обуславливает необходимость разработки комбинированных средств защиты, обладающих полифункциональным действием: подавление развития инфекционных агентов, а также стимулирование роста растений и усиление их устойчивости к абиотическим факторам среды.

Особый интерес представляют биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus*, демонстрирующие высокую противовирусную активность. Однако различные вещества и факторы окружающей среды могут негативно влиять на жизнеспособность бактерий *Bacillus spp.* и производство ими спор и метаболитов. Необходим поиск способов преодоления существующих ограничений, связанных с использованием штаммов полезных микроорганизмов, например, путем косвенной поддержки их жизнедеятельности. Показано, что хитозан может быть использован для повышения биологической активности микробиологических препаратов на основе штаммов рода *Bacillus* [2].

Особый интерес представляет включение в микробиологические препараты гибридных наночастиц на основе хитозана и серебра, синтезированных с использованием методов «зеленой химии», проявляющих собственную биологическую активность и имеющих потенциал реализации синергетического действия между компонентами.

Цель работы заключалась в исследовании антивирусной активности и формирования защитных реакций растений картофеля при обработке нанокompозитом хитозан-серебро (НК Хит-Ag5) отдельно и в сочетании с бактериями *Bacillus subtilis* 47 (торговая марка Карфил).

Нанокompозит хитозан-серебро (НК Хит-Ag5) синтезирован методом «зеленой химии» на базе Института химии новых материалов [1]. По строению НК Хит-Ag5 представляет собой структуру «ядро (наночастица Ag<sup>0</sup>) – оболочка (хитозан)» [3]. Исходная концентрация хитозана в растворе нанокompозита составляла 10 мг/мл, концентрация серебра – 1 мг/мл. Исходная концентрация *Bacillus subtilis* 47 составляла –  $1,0 \cdot 10^9$  КОЕ/мл.

В качестве объекта исследования были использованы адаптированные растения картофеля сорта Бриз белорусской селекции, оздоровленные методом апикальных меристем и клонально размноженные. Обработку растений картофеля проводили НК Хит-Ag5 в двух концентрациях (НК1 и НК2), *Bacillus subtilis* 47 (*B.s.*) и их смесями (НК1 + *B.s.* и НК2 + *B.s.*) дважды путем опрыскивания листовой поверхности за 3-е суток до искусственного заражения Y вирусом и через 6 дней после инфицирования.

Степень вирусного заражения оценивали методом иммуноферментного анализа (ИФА). Изменение уровня транскрипционной активности генов StPR1, StPR3, StPR5, StPR6, StPR9, StPR10, StMT и StPCS, кодирующие белки PR1 (маркер салицилат-зависимого сигнального

мути), PR3 (хитиназы), PR5 (тауматин-подобный белок), PR6 (ингибитор протеаз, маркер жасмонат-зависимого сигнального пути), PR9 (пероксидаза), PR10 (рибонуклеаза), MT (метилтрансфераза) и PCS (пирролин-5-карбоксилат синтаза) – методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ).

Обработка растений картофеля исследуемыми соединениями достоверно снизила степень инфицирования листьев, при этом применение смесей НК с бактериями (НК1 + *B.s.* и НК2 + *B.s.*) способствовало практически полному подавлению распространения Y вируса (рис. 1).

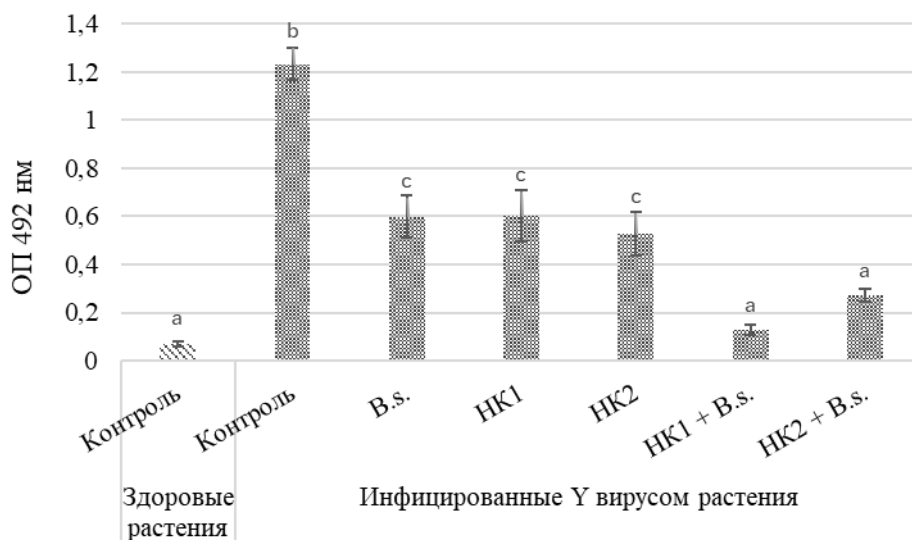


Рисунок 1 – Степень инфицирования листьев картофеля

Анализ транскрипционной активности в листьях здоровых растений картофеля показал увеличение транскриптов генов StPR1, StPR3, StPR5, StPR6, StPR9, StPR10, StMT и StPCS при использовании НК1 отдельно и в более значительной степени – при обработке растений смесью НК1 + *B.s.* (табл. 1). При этом применение смеси НК2 + *B.s.* способствовало накоплению в листьях здоровых растений картофеля транскриптов генов StPR3, StPR5, StPR10, StMT и StPCS (табл. 1).

Таблица 1 – Транскрипционная активность генов PR-белков в листьях здоровых и инфицированных Y вирусом растений картофеля

| Ген                               | Контроль               | B.s.                      | НК1                      | НК2                      | B.s. + НК1               | B.s. + НК2                |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Здоровые растения                 |                        |                           |                          |                          |                          |                           |
| StPR1                             | 1,0±0,08 <sup>a</sup>  | 1,13±0,10 <sup>ab</sup>   | 1,43±0,10 <sup>bc↑</sup> | 1,19±0,07 <sup>abc</sup> | 1,48±0,14 <sup>c↑</sup>  | 1,23±0,08 <sup>abc</sup>  |
| StPR3                             | 1,0±0,06 <sup>a</sup>  | 1,06±0,09 <sup>a</sup>    | 1,52±0,10 <sup>a</sup>   | 1,16±0,06 <sup>ab</sup>  | 2,12±0,36 <sup>b↑</sup>  | 1,85±0,21 <sup>b↑</sup>   |
| StPR5                             | 1,0±0,05 <sup>a</sup>  | 1,22±0,09 <sup>abc</sup>  | 1,51±0,07 <sup>bc↑</sup> | 1,11±0,09 <sup>abc</sup> | 2,63±0,07 <sup>d↑</sup>  | 1,62±0,05 <sup>c↑</sup>   |
| StPR6                             | 1,0±0,002 <sup>a</sup> | 1,45±0,003 <sup>ab</sup>  | 2,13±0,005 <sup>ab</sup> | 1,67±0,003 <sup>ab</sup> | 2,39±0,01 <sup>b↑</sup>  | 1,12±0,004 <sup>ab</sup>  |
| StPR9                             | 1,0±0,17 <sup>a</sup>  | 0,99±0,12 <sup>a</sup>    | 1,56±0,13 <sup>b↑</sup>  | 0,99±0,08 <sup>a</sup>   | 1,42±0,08 <sup>b↑</sup>  | 1,11±0,04 <sup>a</sup>    |
| StPR10                            | 1,0±0,02 <sup>a</sup>  | 1,24±0,02 <sup>a</sup>    | 2,09±0,02 <sup>b↑</sup>  | 1,24±0,01 <sup>a</sup>   | 3,84±0,02 <sup>c↑</sup>  | 2,33±0,03 <sup>b↑</sup>   |
| /StMT                             | 1,0±0,09 <sup>a</sup>  | 1,02±0,06 <sup>a</sup>    | 1,41±0,10 <sup>b↑</sup>  | 1,08±0,05 <sup>a</sup>   | 2,19±0,02 <sup>c↑</sup>  | 1,64±0,05 <sup>b↑</sup>   |
| StPCS                             | 1,0±0,004 <sup>a</sup> | 1,21±0,003 <sup>a</sup>   | 1,45±0,002 <sup>c↑</sup> | 1,30±0,002 <sup>a</sup>  | 6,62±0,002 <sup>b↑</sup> | 3,15±0,01 <sup>c↑</sup>   |
| Инфицированные Y вирусом растения |                        |                           |                          |                          |                          |                           |
| StPR1                             | 1,35±0,11 <sup>a</sup> | 0,71±0,07 <sup>bc↓</sup>  | 1,07±0,07 <sup>a</sup>   | 0,88±0,10 <sup>ab</sup>  | 0,99±0,09 <sup>a</sup>   | 0,59±0,05 <sup>c↓</sup>   |
| StPR3                             | 2,05±0,23 <sup>a</sup> | 0,60±0,08 <sup>bc↓</sup>  | 0,76±0,07 <sup>ab</sup>  | 0,67±0,18 <sup>b↓</sup>  | 1,01±0,14 <sup>a</sup>   | 0,40±0,13 <sup>c↓</sup>   |
| StPR5                             | 1,76±0,04 <sup>a</sup> | 1,01±0,03 <sup>b↓</sup>   | 0,84±0,02 <sup>b↓</sup>  | 1,58±0,04 <sup>a</sup>   | 0,44±0,01 <sup>b↓</sup>  | 0,47±0,08 <sup>c↓</sup>   |
| StPR6                             | 6,60±0,01 <sup>a</sup> | 1,71±0,0002 <sup>b↓</sup> | 3,65±0,01 <sup>a</sup>   | 3,79±0,01 <sup>a</sup>   | 5,77±0,02 <sup>c↓</sup>  | 2,10±0,01 <sup>b↓</sup>   |
| StPR9                             | 1,11±0,07 <sup>a</sup> | 0,64±0,04 <sup>b↓</sup>   | 0,67±0,07 <sup>a</sup>   | 1,46±0,05 <sup>c↓</sup>  | 0,60±0,03 <sup>d↓</sup>  | 0,75±0,02 <sup>d↓</sup>   |
| StPR10                            | 2,09±0,01 <sup>a</sup> | 1,26±0,01 <sup>b↓</sup>   | 1,09±0,01 <sup>a</sup>   | 2,31±0,01 <sup>c↓</sup>  | 0,44±0,01 <sup>b↓</sup>  | 0,46±0,004 <sup>d↓</sup>  |
| StMT                              | 1,75±0,12 <sup>a</sup> | 1,34±0,03 <sup>b↓</sup>   | 1,03±0,05 <sup>b↓</sup>  | 1,72±0,02 <sup>a</sup>   | 0,61±0,01 <sup>b↓</sup>  | 0,61±0,04 <sup>c↓</sup>   |
| StPCS                             | 3,00±0,01 <sup>a</sup> | 0,52±0,001 <sup>b↓</sup>  | 1,68±0,003 <sup>a</sup>  | 2,18±0,002 <sup>a</sup>  | 0,36±0,002 <sup>a</sup>  | 0,15±0,0005 <sup>b↓</sup> |

Примечание: Результаты представлены в виде  $M \pm Sd$  ( $M$  – среднее арифметическое значение,  $Sd$  – стандартное отклонение) трех биологических повторностей. Статистически значимыми принимали различия при  $p < 0,05$ . Буквы латинского алфавита (a, b, c, d) демонстрируют наличие достоверных различий между вариантами.

При исследовании уровня накопления транскриптов генов StPR1, StPR3, StPR5, StPR6, StPR9, StPR10, StMT и StPCS в листьях, инфицированных Y вирусом, растений картофеля выявлено снижение показателей по сравнению с зараженным контролем при обработке отдельно *B.s.* и смесью НК2 + *B.s.* (табл. 1). При этом при использовании НК1 и НК2 снижение транскрипционной активности было выявлено только для генов StPR5, StMT и StPR3, StPR9, StPR10 соответственно (табл. 1). Обработка растений смесью НК1 + *B.s.* способствовала снижению накопления транскриптов генов StPR5, StPR6, StPR9, StPR10 и StMT по сравнению с инфицированным контролем (табл. 1). Однако в целом уровень накопления транскриптов в листьях инфицированных растений был в несколько раз выше, чем у здоровых.

Исследования показывают, что производные хитозана, особенно в сочетании со стимулирующими рост растений бактериями, такими как *Bacillus subtilis*, могут увеличивать транскрипцию генов PR-белков (включая PR-1, PR-3, PR-5, PR-6, PR-9 и PR-10) в растениях картофеля [4]. Синергетические эффекты: комбинация производных хитозана и *Bacillus subtilis* приводит к более сильной активации PR-генов и маркеров системной резистентности, что способствует существенным протеомным изменениям, направленных на снижение накопления вирусных белков в инфицированных листьях. На ранних этапах заражения происходит активация PR-генов, однако при снижении вирусной нагрузки, например, при обработке, растение может переключаться на другие защитные механизмы, что приводит к снижению экспрессии PR-генов.

Таким образом, воздействие нанокompозита в комплексе с *Bacillus subtilis* способствовало увеличению экспрессии генов защитных белков у здоровых растений, что впоследствии обусловило снижение степени инфицирования Y- вирусом и привело к уменьшению уровня транскриптов генов стрессовых белков у зараженных растений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б24М-006) и гранта РНФ № 23–16–00139.*

#### Список литературы

1. Гидротермальный синтез и свойства нанокompозитов хитозан-серебро / К. С. Гилевская, М. Е. Машкин, А. Н. Красковский [и др.] // Журнал неорганической химии. – 2021. – Т. 66, № 8. – С. 1017–1024.
2. Effects of endophytic *Bacillus subtilis* and salicylic acid on postharvest diseases (*Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*) development in stored potato tubers / O. Lastochkina, A. Baymiev, A. Shayahmetova [et al.] // Plants. – 2020. – Vol. 9, Iss. 1. – P. 76. doi:10.3390/plants9010076.
3. Silver nanoparticles stabilized with a chitosan shell: physical-chemical properties and features of the toxic effect *in vivo* / V. M. Vasilkevich, R. V. Bogdanova, K. S. Hileuskaya [et al.] // Nanobiotechnology Reports. – 2023. – Vol. 18, № 1. – P. 133–141.
4. The influence of chitosan derivatives in combination with *Bacillus subtilis* bacteria on the development of systemic resistance in potato plants with viral infection and drought / L. Yarullina, J. Kalatskaja, V. Tsvetkov [et al.] // Plants. – 2024. – Vol. 13, Iss. 16. – P. 2210. doi: 10.3390/plants13162210.

## ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ ХЛОРЕЛЛЫ НА МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

Емельянова А. В., Пашкевич А. В.

УО «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: yemely.hanna@gmail.com

*Выявлен стимулирующий эффект суспензии микроводоросли хлореллы на энергию прорастания и всхожесть семян фасоли обыкновенной, а также установлено положительное влияние микроводоросли на рост и развитие проростков фасоли на ранних этапах онтогенеза, что проявлялось в увеличении некоторых морфометрических показателей, в частности веса первых листьев, длины корней и гипокотилей, а также в возрастании содержания фотосинтетических пигментов.*

На сегодняшний день различные виды водорослей представляют существенную научную и хозяйственную ценность. К такому виду водорослям относится зеленая микроводоросль хлорелла обыкновенная (*Chlorella vulgaris*), которая широко используется в различных отраслях промышленной биотехнологии. Являясь ценным, экологически безопасным и достаточно быстро возобновляемым сырьевым ресурсом, хлорелла активно используется как источник разнообразных биологически активных соединений, микроэлементов, органических и минеральных веществ. В связи с этим, микроводоросль выращивают в больших масштабах и применяют во многих областях промышленности и для различных целей, включая корма для животных, в качестве источника белка и биоактивных веществ в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, для очистки сточных вод и реабилитации водоемов, производства кислорода, производства биотоплива и др. [2].

В последние годы возрос интерес к научным исследованиям, посвященным влиянию биостимуляторов природного происхождения, в том числе и хлореллы, на рост и развитие различных видов растений. Так, в литературе имеется множество сведений об использовании суспензии хлореллы в сельском хозяйстве в качестве биоудобрения, оказывающего положительное действие на урожайность сельскохозяйственных культур [4]. Кроме того, имеются данные о применении суспензии хлореллы в качестве ростостимулирующего агента, влияющего на энергию прорастания и всхожесть семян. Предполагают, что действие микроводоросли на растения напоминает работу своеобразного «энергетика». Так, попадая в почву, она быстро проникает в клетки растений и положительно влияет на ключевые этапы морфогенеза растения. Также благодаря прямому влиянию на клеточное деление, биологически активные вещества, содержащиеся в хлорелле, ускоряют прорастание семян, способствуют образованию более развитой корневой системы и стимулируют энергичный рост стеблей [1]. Исходя из вышеизложенного, актуальность данного исследования заключается в обосновании возможности применения суспензии хлореллы, как природного и экологически безопасного биостимулятора, с целью повышения энергии прорастания и всхожести семян, а также роста и развития проростков такой ценной продовольственной культуры, как фасоль обыкновенная. Целью данной работы являлось изучение влияния суспензии хлореллы на морфолого-физиологические показатели проростков фасоли обыкновенной на ранних этапах онтогенеза.

В качестве объекта исследования использовали 7-дневные проростки фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.), выращенные в естественных условиях на воде (контроль) и на маточной суспензии хлореллы, выращенной в лабораторных условиях (Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси), разбавленной водой в 10 раз. Семена проращивали в пластиковых контейнерах на фильтровальной бумаге при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Содержание фотосинтетических пигментов определяли по методу, описанному в работе [5]. Оценку качества посевного материала осуществляли по ГОСТ 12038–84 [3].

При изучении энергии прорастания семян фасоли обыкновенной было установлено, что энергия прорастания в варианте, выращенном на суспензии микроводоросли хлореллы, возрастала на 16% по сравнению с контрольными семенами, которые выращивали на воде. Также показано увеличение всхожести семян на 26 % в опытном варианте, выращенном на суспензии микроводоросли по сравнению с контролем.

A photograph showing two rows of plant seedlings with their roots exposed, laid out on a white surface. The seedlings on the left are smaller and have fewer leaves, while the ones on the right are larger and more developed. The roots are light brown and fibrous.

**А** **Б**

**Рисунок 1 – Внешний вид 7-дневных проростков фасоли обыкновенной, выращенных на воде (контроль) (А) и на суспензии хлореллы (Б)**

Так, установлено существенное увеличение в 2,6 раза длины корней в проростках, выращенных на суспензии хлореллы, а также возрастание в них в 1,3 раза длины гипокотилей. Примечательно, но при выращивании проростков на микроводоросли снижались на 20 % весовые показатели корней и на 14 % вес гипокотилей. При этом в опытных проростках отмечалось возрастание на 37 % веса первых листьев по сравнению с контролем.

Мы предполагаем, что проростки, выращенные на суспензии микроводоросли, быстрее переходят к автотрофному типу питания, что связано с их развитой листовой поверхностью и активным формированием фотосинтетического аппарата. С целью подтверждения данного предположения мы изучили содержание важнейших структурных компонентов фотосинтетического аппарата – фотосинтетических пигментов, как важнейших показателей физиологического состояния растений.

В ходе исследований установлено, что при выращивании проростков фасоли обыкновенной на суспензии микроводоросли хлореллы содержание в них Хл *a* возрастало на 27 % по сравнению с контролем и составляло  $1548 \pm 22,9$  мкг/г сырой массы (рисунок 2). Кроме того, отмечено увеличение на 30 % содержания в них Хл *b* и составляло  $598 \pm 8,6$  мкг/г сырой массы (рисунок 2). Вместе с тем, показано, что количество каротиноидов в 7-дневных проростках фасоли обыкновенной, выращенных на суспензии хлореллы достоверно не изменялось –  $143 \pm 2,09$  мкг/г сырой массы, что составляло 98 % по сравнению с контролем (рисунок 2).

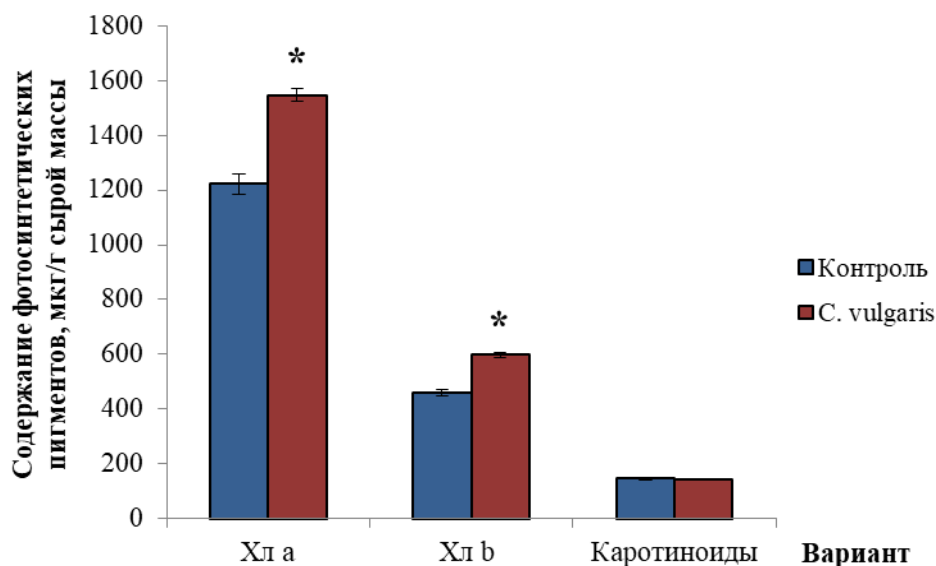


Рисунок 2 – Содержание фотосинтетических пигментов в проростках фасоли обыкновенной, выращенных на воде (контроль) и суспензии хлореллы (*C. vulgaris*); \* $p \leq 0,05$

Таким образом, выявлен стимулирующий эффект суспензии хлореллы на важнейшие показатели качества посевного материала, а также на морфолого-физиологические параметры растений на ранних этапах их онтогенеза. Так, установлено, что при выращивании проростков на суспензии хлореллы улучшалось качество посевного материала, что проявлялось в стимулирующем действии зеленой микроводоросли на энергию прорастания, а также всхожесть семян фасоли обыкновенной. Кроме того, выращивание проростков фасоли обыкновенной на суспензии хлореллы положительно влияло на морфометрические показатели, в частности длину корней и гипокотилей, а также вес первых листьев, тем самым ускоряя переход проростков с мезотрофного на автотрофный тип питания, что также подтверждалось возрастанием содержания в опытном варианте фотосинтетических пигментов, что свидетельствовало об активном формировании фотосинтетического аппарата при действии микроводоросли, а также стимуляции процесса фотосинтеза.

#### Список литературы

1. Белокурова, Е. С. Влияние суспензии хлореллы на энергию прорастания и всхожесть ячменя пивоваренного / Е. С. Белокурова, О. Р. Левчук, Д. Р. Кузьмина // Агробiotехнология-2021 : сб. ст. Междунар. конф., Москва, 24–25 нояб. 2021 г. / Рос. гос. аграр. ун-т ; ред.: В. И. Трухачев, А. В. Шитикова. – М., 2021. – С. 350–355.
2. Мельников, С. С. Оптимизация условий выращивания хлореллы / С. С. Мельников [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2014. – № 3. – С. 52–56.
3. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038-84 : введ. 01.07.1986. – М. : Стандартинформ, 2011. – 30 с.
4. Шалыго, Н. В. Микроводоросли и цианобактерии как биоудобрение / Н.В. Шалыго // Наука и инновации. – 2019. – № 3. – С. 10–12.
5. Шлык, А. А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* / А. А. Шлык // Биохимия. – 1968. – Т. 33, № 2. – С. 275–285.

**ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА УКОРЕНЕНИЕ ЧЕРЕНКОВ КАЛИНЫ  
ОБЫКНОВЕННОЙ (*VIBURNUM OPULUS*), ФОРЗИЦИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ  
(*FORSYTHIA EUROPAEA*), ДЁРНА БЕЛОГО (*CORNUS ALBA*)**

Зайцева Д. Д.

УО «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь  
e-mail: zajcevad03@gmail.com

Декоративные растения положительно влияют на производительность труда и эмоциональное состояние человека. Однако при озеленении зачастую не учитываются эколого-биологические особенности растений, что значительно снижает эффективность озеленения. В связи с этим возникает необходимость пересмотра ассортимента растений с учетом микроклимата современных зданий и условий их жизнедеятельности.

Стимуляторы роста, в последнее время приобретают все большую популярность. Они успешно используются для ускорения укоренения при размножении, уменьшения предуборочного опадения плодов, с целью задержки цветения, прореживания цветков и завязей, для замедления прорастания клубней, корнеплодов и луковиц при хранении, для борьбы с сорняками и т. д. Материалы данного исследования по размножению некоторых видов декоративно древесных растений посвящены черенкованию с использованием стимуляторов роста.

Цель работы – установить, влияние стимуляторов роста эпин, корневин, экосил, индолилуксусная кислота на вегетативное размножение декоративно древесных растений калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) сорта Бульденеж, форзиции европейской (*Forsythia europaea*), дёрна (*Cornus alba*) сорта *Argenteo-marginata* и *Spaethii* и выявить наиболее эффективные стимуляторы роста [1].

Материал и методы. Объектами исследования служили неспящие черенки калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) сорт Бульденеж, спящие и неспящие черенки форзиции европейской (*Forsythia europaea*), спящие и неспящие черенки дёрна белого (*Cornus alba*) сорта *Argenteo-marginata*, и дёрн белый (*Cornus alba*) сорт *Spaethii* (неспящие черенки).

Черенки, предназначенные для укоренения, заготавливали по методикам Турецкой Р.Х., Поликарповой Ф. Я. и Саакова С. Г. [2]. Для закладки опыта использовались черенки с 3–4 узлами.

В качестве стимуляторов корнеобразования применяли следующие физиологически активные вещества: эпин, экосил, индолилуксусный эфир и корневин [3]. В качестве контроля использовали воду. Черенки растений на 2–3 см погружали в растворы стимуляторов роста: экосил, ИУЭ, эпин и корневин – выдержав время экспозиции 12 часов, высаживали в специально отведенную гряду, в грунт на глубину 1,5–2 см. В условиях ботанического сада укореняемость опытных черенков проверяли через 5 месяцев после высадки. Изучали количество корней, измеряли длину корней, побега, подсчитывали их количество [4].

Результаты и их обсуждение. Изучали влияние стимуляторов роста на количество побегов. Лучшие показатели оказались у спящих и неспящих черенков форзиции, обработанных эпином и экосилом, в среднем от 2 до 2,7 побегов, в то время как у контрольной группы от 1 до 2 побегов. У черенков, обработанных корневином, средний показатель от 1 до 1,7 шт побегов. Черенки, обработанные ИУК не дали вообще новых побегов. Для неспящих черенков калины обыкновенной стимуляторы роста оказались не эффективными. Наиболее эффективным стимулятором роста для черенков дёрна белого оказался корневин – 2,7 шт и ИУК – 2,5 шт. У контрольной группы черенков побеги не образовались. Для спящих черенков дёрна белого стимуляторы роста мало эффективны [5].

**Таблица 1 – Влияние стимуляторов роста на количество побегов**

| Сорт растения       | Контроль | Стимулятор экосил | Стимулятор корневин | Стимулятор эпин | Стимулятор ИУК |
|---------------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| Неспящие черенки    |          |                   |                     |                 |                |
| Форзиция            | 2        | 2,5               | 1,7                 | 2,7             | 0              |
| Калина обыкновенная | 2        | 0                 | 0                   | 1               | 0              |
| Дерн белый          | 0        | 2,1               | 2,7                 | 0               | 2,5            |
| Дерн пестролистный  | 2,5      | 2,8               | 0                   | 2,1             | 3              |
| Спящие черенки      |          |                   |                     |                 |                |
| Форзиция            | 1        | 2                 | 1                   | 2               | 0              |
| Дерн белый          | 2,7      | 12,2              | 8,8                 | 3               | 0              |

У дёрна пестролистного лучший результат показали черенки, обработанные ИУК – 3 шт. и экосилом 2,8 шт. побегов. Средний показатель количества побегов у черенков контрольной группы – 2,5 шт., что выше, чем у группы черенков обработанных эпином – 2,1 шт. У черенков, обработанных корневином новые побеги не образовались.

Исследовали влияние стимуляторов роста на количество листьев. Наиболее эффективным стимулятором роста для дерна белого оказалась ИУК. Среднее количество листьев у черенков данной группы – 32 шт. При воздействии экосила и эпина – 17,4 шт. 16,9 шт, соответственно. Черенки, обработанные корневином, листьев не образовали. При действии эпина на спящие черенки дёрна белого показатель количества листьев составил 40,5 шт., что не на много превышает контрольную группу – 35,7 шт. Для неспящих черенков дерна белого эффективны все стимуляторы роста, показатель составил от 17,8 шт. у экосила до 23,8 шт. листьев у корневина. У контрольных черенков и черенков при обработке спинном не наблюдается появление листьев. Для неспящих черенков калины стимуляторы роста оказались не эффективными. Для спящих и неспящих черенков форзиции ИУК не эффективна. Для спящих черенков форзиции наиболее эффективен эпин – 17 шт. листьев. Также, нужно отметить, что для неспящих черенков форзиции стимуляторы роста, в отношении показателя количества листьев, не эффективны.

**Таблица 2 – Влияние стимуляторов роста на количество листьев**

| Сорт растения       | Контроль | Стимулятор экосил | Стимулятор корневин | Стимулятор эпин | Стимулятор ИУК |
|---------------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| Неспящие черенки    |          |                   |                     |                 |                |
| Форзиция            | 16,1     | 9                 | 5,7                 | 16,1            | 0              |
| Калина обыкновенная | 13       | 0                 | 0                   | 12              | 0              |
| Дерн белый          | 0        | 17,5              | 23                  | 0               | 18             |
| Дерн пестролистный  | 0        | 17,5              | 24                  | 0               | 18             |
| Спящие черенки      |          |                   |                     |                 |                |
| Форзиция            | 6,1      | 11                | 9                   | 17              | 0              |
| Дерн белый          | 35       | 19                | 0                   | 40              | 0              |

**Закключение.** Таким образом, проанализировав все полученные данные можно сделать вывод, что для форзиции обыкновенной наиболее эффективным стимулятором роста является эпин. Для не спящих черенков калины обыкновенной и для спящих черенков дерна белого (сорт *Argenteo-marginata*), не один стимулятор роста не является эффективным. У неспящих черенков белого дерна (сорт *Argenteo-marginata*) под воздействием различных стимуляторов показатели улучшаются.

#### **Список литературы**

1. Борисенко, Т. П. Оценка влияния температуры, влажности субстрата и ростового вещества на укоренение черенков хризантем / Т. П. Борисенко, В. А. Корнейчук // Научно-технический бюллетень ВНИИ растениеводства. Л., 1985. – С.58–62.
2. Бояркина, И. С. Исследование влияния стимуляторов роста на укоренение/ И. С. Бояркина, И. Ю. Сускина. – М., 1984. – С. 38–43.
3. Гамбург, К.З. Биохимия ауксина и его действия на клетки растений / К. З. Гамбург. – Новосибирск: Наука, 1976. – 271 с.
4. Смирнов, А. П. Размножение растений в саду: от черенкования до микроклонального размножения / Смирнов А. П., О. А. Климанова. – М., 2019.
5. Третьяков, Н. Н. Ботаника: современный курс / Н. Н. Третьяков. – 5 изд. – СПб., 2021.

## ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЕ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СТЕБЛЯ КАРТОФЕЛЯ И ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ АУКСИНА В РЕГЕНЕРАЦИИ

Карпачева Е. В., Фенерова П. Ю., Фролов К. Б.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Минздрава России,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
e-mail: [katua1112@yandex.ru](mailto:katua1112@yandex.ru)

*Изучали анатомическое строение стебля картофеля в динамике его развития. Показано, что на этапе накопления листовой массы способность к корнеобразованию велика, и почти полностью пропадает при переходе к клубнеобразованию. Гистохимическим методом выявлено, что клеточные стенки проводящих пучков у черенков, не способных к укоренению содержат ауксин. Раман-спектроскопия показала, что у таких черенков общее количество метаболитов, включая ауксин, существенно выше в коровой паренхиме и незначительно выше в проводящих пучках.*

Среди всех сельскохозяйственно значимых двудольных растений картофель лидирует со значительным отрывом. У картофеля исключительно высокая способность к накоплению крахмала с единицы площади за единицу времени. Поэтому, изучение роста растений картофеля, и особенно, поиск методов его манипулированием по стадиям развития остается актуальным на протяжении уже многих лет.

Посадочный материал картофеля периодически обновляют, т. к. заражение вирусами существенно снижает урожайность. Как правило, оздоровление проводят через выделение апикальных меристем, куда вирусам проникать труднее. Далее, проводят регенерацию оздоровленных растений, которые затем размножают *in vitro*. Однако длительное содержание растений в таких условиях запускает механизм эпигенетической изменчивости и процедуру выделения меристем приходится повторять.

Оптимальным выходом является выращивание посадочного материала аэропнным методом. От некоторых сортов можно получить 100 и больше миниклубней категории супер-суперэлита. Более того, выращивание на аэропонике в строго контролируемых условиях позволяет изучать особенности роста картофеля на разных стадиях, хорошо известных картофелеводам: рост и накопление вегетативной массы, переход к цветению и росту столонов, индукция клубнеобразования, рост и последующий переход клубней в покой. За счет варьирования условий выращивания можно изучить влияние множества факторов, таких как, суточные изменения температуры, состава минерального питания, продолжительность светового дня, спектра освещения и др. Из всех этапов важнейшим является переход от стадии накопления листовой массы к индукции клубнеобразования.

Во многих работах показана роль гормональных перестроек, приводящих к сменам этапов роста и развития картофеля. Тем не менее, эта тема не исчерпана, прямых данных по изменению в содержании, например, ауксина (ИУК) или абсцизовой (АБК) кислоты нам найти не удалось.

По мере роста стебель картофеля утолщается, очевидно, за счет делений и увеличения объема клеток тканей, в него входящих. Следует отметить, что анатомическое строение картофеля изучали достаточно давно (1), однако, в настоящий период времени эти работы малодоступны и могут не иметь связи между собственно ботаникой и физиологией растений. Как нам кажется, современный уровень исследований требует детального знания структуры изучаемого объекта в динамике его развития.

Известно, что сокращение светового дня способствует переходу к формированию столонов. В нашей работе мы первые 40 дней выращивали на аэропонике при 16 часовом световом дне, потом его сокращали до 12, а еще через неделю до 10 часов и сохраняли таким до конца вегетации. При таких условиях картофель сорта Апачи прекращал набор вегетативной массы и переходил к формированию столонов.

Интересно, что если сокращения светового дня не производили, то наблюдался массовый рост пасынков, вплоть до верхушки стебля, чего в природе не бывает. Срезанные с материнского растения такие пасынки и сам стебель, порезанный на черенки, легко укоренялись и давали начало новым растениям. При сокращении продолжительности освещения у черенков и пасынков способность к регенерации резко снижалась, они оказывались не способными к росту корней, хотя формировали их примордии. Более того, через несколько дней из пазух листьев начинали расти столоны с формированием клубней. Ранее такой эффект был получен при прямом нанесении на пазушную почку АБК (2). Важно отметить, что описанные явления происходили на свету, чего не бывает при культивировании в естественных условиях.

Таким образом, был сделан вывод, что свет является причиной, но не фактором перехода растений картофеля к формированию клубней.

По результатам наших наблюдений для этой работе были сформулированы две основные цели:

1. выявить изменение в содержании ауксина при переходе со стадии накопления листовой массы к стадии цветения и индукции столонов у растений картофеля.
2. изучить изменение в анатомическом строении стебля картофеля в ходе его развития от прорастания и до начала цветения.

Материалы и методы. В работе использовали растения картофеля сорта Апачи, оздоровленный через апикальную меристему. Для анатомического исследования вырезали участки стебля размером 5 мм на разном удалении от апекса, с шагом в 10 см и фиксировали по Навашину. После процедуры обезжизивания и заключения в парапласт получали срезы толщиной 10 микрон, которые окрашивали гематоксилином Майера и алциановым синим и анализировали под микроскопом.

Для определения локализации ауксина использовали два типа черенков: легко укореняющихся (на стадии роста листовой массы) и трудно укореняемых (на стадии перехода к образованию столонов). Применяли два метода: гистохимическое окрашивание криостатных срезов и Раман-спектроскопию (3,4). В обоих вариантах использовали среднюю (контроль) и нижнюю часть черенков (зона регенерации).

Результаты и обсуждение. Было предположено, что в условиях нашего эксперимента в тканях нижней части черенков скапливается ауксин в концентрации, приводящий к индукции пролиферации и образованию апексов корней, но подавляющий их рост. В свою очередь, в этих апексах синтезируется цитокинин, роль которого в формировании столонов известна. Наше предположение коррелирует с данными из научной литературы (5,6).

Для определения локализации ауксина гистохимическим методом фрагменты нижней и средней (контроль) части черенков порезаны на препараты на замораживающем микротоме с последующим окрашиванием на ауксин. Толщина срезов составляла 20 микрон. При анализе срезов легко укореняющихся черенков ауксин выявлен не был, в то время как у растений, перешедших на стадию образования столонов проводящие пучки перицикла имели окраску, показывающую наличие в них ауксина.

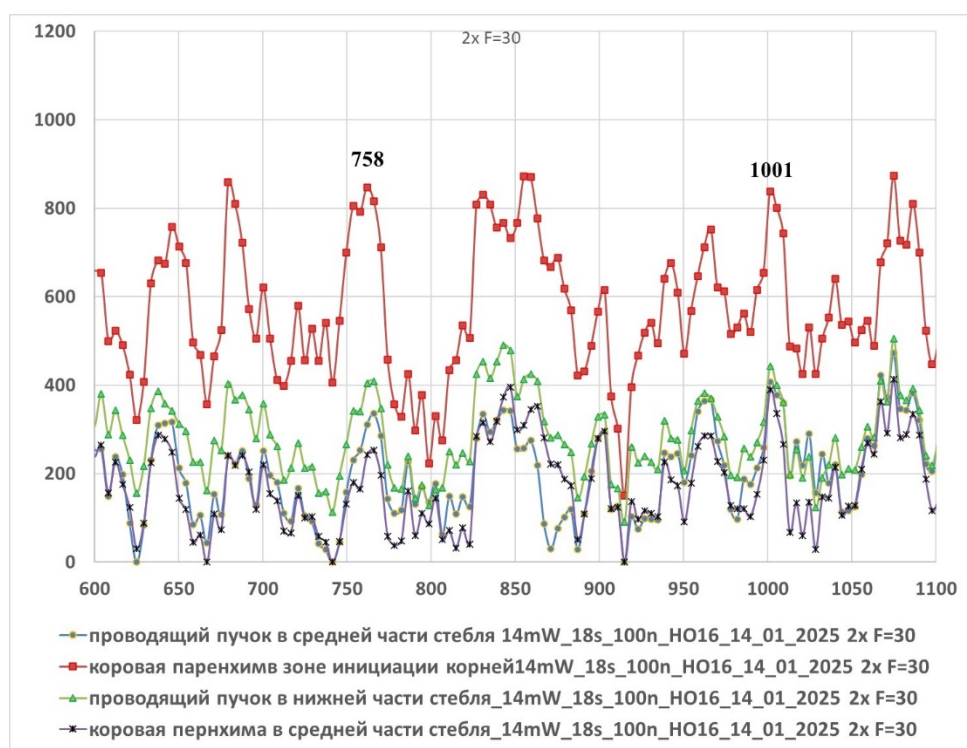
Результаты исследования методом Раман-спектроскопии представлены на рисунке 1.

Из рисунка следует, что во всех вариантах клетки в разных зонах черенков содержат одни и те же метаболиты. Однако в нижней части черенков в клетках коровой паренхимы количество метаболитов оказалось существенно, а в проводящем пучке незначительно выше. Показаны два пика, соответствующих ауксину. Наличие АБК не выявлено.

Изучение анатомического строения показало, что его организация схожая для многих двудольных травянистых растений. Стебель окружает однослойная эпидерма, за которой расположен ряд клеток эндодермы. Ниже расположены 6–10 рядов клеток коровой паренхимы, за которой находится перицикл, сформированный клетками проводящей системы флоэмы и ксилемы. Отдельные пучки флоэмы расположены за перициклом среди клеток сердцевинной паренхимы и распределены равномерно. По мере удаления от апикальной

части за счет присоединения листовых следов происходит увеличение количества сосудов ксилемы. В итоге формируются три крупных пучка, хорошо различимых даже без микроскопа при поперечном разрезе стебля. Между ними располагаются пучки ксилемы отдельных листовых следов. Напротив этих пучков закладываются и растут «крылья» - выросты коровой паренхимы. Предположено, что и рост крыльев, и формирование пучков ксилемы происходит под влиянием ауксина. Диаметр стебля постепенно увеличивается за счет делений клеток перидермы, увеличения в объеме клеток сердцевинной паренхимы и формирования слоев перилеммы. Кроме того, происходит разрушение части клеток сердцевинной паренхимы с формированием воздушной полости, которая отсутствует в нижней части побега.

Анатомическое строение столонов мало отличается от такового у стебля, однако, количество слоев клеток коровой паренхимы меньше, разрушения клеток сердцевинной паренхимы не происходит, а придаточные корни формируются только в листовых узлах. Также не обнаружено формирования слоев перилеммы.



**Рисунок 1 – Результаты Раман-спектроскопического изучения содержания вторичных метаболитов в черенках картофеля**

#### Список литературы

1. Ефремов С.И. Анатомия картофеля // Орел, 1958, 235 С, ил. 21
2. The potato crop // Springer-Science+Business media, 1992, Chapter 3, pp. 65-161
3. Detection of cytokinins and auxin in plant tissues using histochemistry and immunocytochemistry / C. S. Bedetti, N. C. Jorge, Fcg. Trigueiro [et al.] // Biotech Histochem. – 2018. – Vol. 93 (2). – P. 149-154.
4. Lewis I.R., Edwards H.G.M. Handbook of Raman Spectroscopy. 2001
5. Гормональная регуляция клубнеобразования у картофеля / Н. П. Аксенова, Т. Н. Константинова, С. А. Голяновская [и др.] // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, №4. – С. 491.
5. Nina P. Aksenova, Lidiya I. Sergeeva, Oksana O. Kolachevskaya and Georgy A. Romanov Hormonal Regulation of Tuber Formation in Potato // Bulbous Plants: Biotechnology.

**МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСПЛАНТОВ БЕРЕЗЫ РАЗЛИЧНЫХ  
ТАКСОНОВ В УСЛОВИЯХ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ *IN VITRO***Константинов А. В.<sup>1</sup>, Осипенко Н. В.<sup>1</sup>, Полевикова Е. Н.<sup>1</sup>, Куфко И. Э.<sup>1</sup>, Куделина Т. Н.<sup>2</sup><sup>1</sup>ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь<sup>2</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

*Представлены данные оценки интенсивности каллусогенеза на листовых и побеговых эксплантах различных представителей рода *Betula* L. в условиях моделируемого солевого и осмотического стресса. Установлено влияние концентрации селективного агента и генотипа культивируемого материала на морфогенетическую способность изолированных соматических тканей и выявлены особенности ростовых параметров регенерантов получаемых из дифференцированных тканей. Апробированные схемы культивирования могут быть использованы как основа биотехнологических моделей для получения исходного селекционного материала с повышенной устойчивостью к влиянию неблагоприятных абиотических факторов.*

Культура изолированных клеток органов и тканей растений позволяет проводить широкий спектр молекулярных и физиолого-биохимических исследований, в том числе в направлении изучения генетической стабильности культивируемого материала. Выращивание на искусственных питательных средах, включающих экзогенные регуляторы роста, может обеспечить получение гетерогенных тканевых культур с различной метаболической активностью и гистологической дифференцировкой [1]. Изменчивость, возникающая в культуре тканей, обозначается, как соматическая, и включает в себя в основном различные типы геномных мутаций, вызванных нарушением процесса расхождения хромосом при делении клеток. Частота возникновения соматических вариаций является более высокой по сравнению с генными мутациями, и, как правило, характеризуется большей комплексностью изменений и диапазоном изменчивости отдельных признаков [2]. Вариативность физиолого-биохимических параметров определяется дифференциальной экспрессией различных структурных генов первичного и вторичного метаболизма и может затрагивать отдельные части (ткани, клетки) растений, а в случае их мутационной природы, приводить в отдельных случаях повышению адаптивной способности клеточных популяций к воздействию стрессовых факторов [3].

Таким образом, использование методик культивирования древесных растений на различных селективных фонах *in vitro* может являться инструментом для проведения первичного отбора исходного материала для дальнейшей селекции. Целью работы являлась оценка каллусогенеза культур тканей березы на питательных средах, дополненных хлоридом натрия и полиэтиленгликолем.

В качестве эксплантов использовали листовые пластинки двухмесячных регенерантов березы различных клонов (по 85-110 шт.), которые стерильно изолировали и помещали на чашки Петри на среду MS с добавлением 6-бензиламинопурина, тидиазурина и индолилмасляной кислоты в концентрации 5,0 мг·л<sup>-1</sup>, 0,1 мг·л<sup>-1</sup> и 0,4 мг·л<sup>-1</sup> соответственно. Для моделирования условий абиотического стресса в среды вносили 0,25% NaCl или 4-6% ПЭГ-6000, контрольная группа – без селективных агентов. Инкубировали растительный материал 40 суток при температуре 23±1 °С в темновых условиях. Для регенерации микроклонов получаемые каллусы переносили на питательные среды с пониженной концентрацией регуляторов роста (6-бензиламинопурин и индолилмасляная кислота по 2,0 мг·л<sup>-1</sup> и 0,1 мг·л<sup>-1</sup> соответственно) в стандартные условия культивирования (на свету интенсивностью около 2500 лк), отдельные получаемые микроклоны субкультивировали на безгормональную модифицированную среду WPM. Статистическую обработку результатов проводили при помощи табличного редактора Microsoft Excel.

Выявлено, что в модельных условиях воздействия абиотических стрессов на изолированные соматические ткани каллусогенез протекает с различной интенсивностью в

зависимости от клоновой принадлежности материала и характера селективного фона, что может применяться для первичного отбора перспективных генотипов (таблица).

**Таблица – Интенсивность каллусогенеза на эксплантах березы разных таксонов в условиях моделируемых абиотических стрессов**

| Генотип                                                                                             | Тип<br>экспланта | Количество эксплантов, шт.; Эксплантов с каллусом, шт./% |            |             |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|
|                                                                                                     |                  | Контроль                                                 | NaCl       | ПЭГ-6000    |             |
|                                                                                                     |                  |                                                          | 0,25%      | 4,0%        | 6,0%        |
| Береза повислая ( <i>B. pendula</i> Roth.)                                                          |                  |                                                          |            |             |             |
| 6/161-3                                                                                             | I*               | 17; 9/52,9                                               | 19; 2/10,5 | 20; 8/40,0  | 35; 11/31,4 |
|                                                                                                     | II**             | 12; 5/41,7                                               | 17; 2/11,8 | 29; 11/37,9 | 41; 9/22,0  |
| 171-6                                                                                               | I                | 20; 9/45,0                                               | 21; 3/14,3 | 27; 9/33,3  | 34; 15/44,1 |
|                                                                                                     | II               | 14; 5/35,7                                               | 19; 1/5,3  | 27; 8/29,6  | 35; 13/37,1 |
| 669a1                                                                                               | I                | 20; 7/35,0                                               | 20; 0/0,0  | 25; 11/44,0 | 28; 10/35,7 |
|                                                                                                     | II               | 22; 4/18,2                                               | 21; 0/0,0  | 28; 5/17,9  | 28; 7/25,0  |
| 66–150/10                                                                                           | I                | 15; 10/66,7                                              | 18; 2/11,1 | 32; 7/21,9  | 25; 8/32,0  |
|                                                                                                     | II               | 18; 3/16,7                                               | 20; 1/5,0  | 25; 6/24,0  | 22; 6/27,3  |
| Береза повислая ф. карельская ( <i>B. pendula</i> Roth. var. <i>carelica</i> (Mercklin) Hämet-Ahti) |                  |                                                          |            |             |             |
| к676                                                                                                | I                | 18; 7/38,9                                               | 20; 2/10,0 | 25; 6/24,0  | 27; 11/40,7 |
|                                                                                                     | II               | 20; 4/20,0                                               | 17; 0/0    | 20; 9/45,0  | 21; 5/23,8  |
| C08419                                                                                              | I                | 15; 7/46,7                                               | 19; 0/0    | 30; 7/23,3  | 26; 9/34,6  |
|                                                                                                     | II               | 15; 4/26,7                                               | 20; 0/0    | 26; 5/19,2  | 24; 6/25,0  |
| Береза пушистая ( <i>B. pubescens</i> Ehrh.)                                                        |                  |                                                          |            |             |             |
| 6п3ф1                                                                                               | I                | 20; 17/85,0                                              | 19; 2/10,5 | 27; 13/48,1 | 25; 8/32,0  |
|                                                                                                     | II               | 21; 11/52,4                                              | 20; 0/0    | 33; 9/27,3  | 36; 10/27,8 |
| Гибридная береза ( <i>B. pendula</i> × <i>B. pubescens</i> )                                        |                  |                                                          |            |             |             |
| 52–84/8                                                                                             | I                | 20; 15/75,0                                              | 17; 2/11,8 | 21; 10/47,6 | 21; 7/33,3  |
|                                                                                                     | II               | 17; 8/47,1                                               | 18; 0/0    | 23; 9/39,1  | 23; 7/30,4  |
| *I – листовые пластинки; **II – фрагменты побегов                                                   |                  |                                                          |            |             |             |

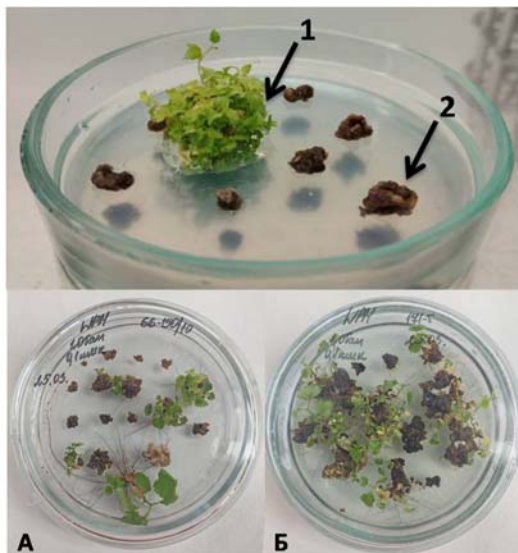
\*I – листовые пластинки; \*\*II – фрагменты побегов

Очаги каллусообразования на эксплантах контрольной группы и в варианте с 4,0% ПЭГ (21,9–48,1 % и 17,9–45,0 % на листовых и побеговых эксплантах соответственно) были локализованы преимущественно у нанесенных при эксплантировании насечек или срезов листовых черешков. Указанные участки дедифференцированных тканей для большинства генотипов представляли собой плотные глобулы буроватого или желтовато-зеленого цвета, которые впоследствии зеленели за счет вторично образующихся в каллусной массе хлорофиллов.

Ткани эксплантов на средах с NaCl и 6,0% ПЭГ в течение нескольких суток начинали терять пигментацию, приобретали буро-зеленый цвет и формировали тонкий слой каллуса на значительной площади. При этом каллус характеризовался темной окраской и рыхлой консистенцией. После перемещения в условия освещенности большинство таких каллусов достаточно быстро теряли морфогенную способность и некротизировали. В указанных условиях каллусообразование отмечали на 10,5–14,2 % материала (среды с NaCl, листовые экспланты) и на 31,4–44,1 % и 22,0–37,1 % (среды с 6,0% ПЭГ, листовые и побеговые экспланты соответственно). В указанных условиях формировались преимущественно неморфогенные каллусные ткани.

Растения-регенеранты были получены через 1,5 месяца после субкультивирования дедифференцированных тканей на питательные среды без селективного фона, органогенез протекал достаточно интенсивно (до 10 микропобегов на каллус), в то же время гомогенез в каллусных культурах в условиях моделируемого стресса (0,25% NaCl и 6,0% ПЭГ) не наблюдался. Для оценки особенностей морфогенеза регенерантов *de novo* березы различных таксонов, полученных в результате непрямого морфогенеза, было проведено измерение показателей высот микропобегов. Отмечено достоверное значимое различие указанных

значений между клонами, так средняя высота стволика регенерантов клона 171-б ( $35,4 \pm 8,6$  мм) превышала данный показатель регенерантов клона 6-161/3 ( $23,9 \pm 10,1$  мм):  $F_{ст}=37,9 > F_{кр}=3,93$ , при  $p < 0,05$ , а микроклоны карельской березы клона кб76 ( $20,3 \pm 11,3$  мм) были в среднем ниже растений, регенерированных из каллусов клона 66-160/10 ( $34,3 \pm 17,7$  мм):  $F_{ст}=14,3 > F_{кр}=3,95$ , при  $p < 0,05$ . Различная интенсивность регенерации и неморфогенные каллусные ткани березы представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Формирование регенерантов из каллусных культур березы в модельной системе, направленной на получение стресс-толерантных линий**  
1 - конгломерат микропобегов; 2 - неморфогенный каллус; микропобеги в каллусных культурах клонов 66–150/10 (А) и 171-б (Б).

Наибольшей длины достигали отдельные микропобеги *de novo* полученные в каллусных культурах клона 66–150/10 (86 мм). Минимальные показатели длины растений варьировали в пределах 7–15 мм в зависимости от клона березы. В то время как для клонов березы повислой линейные показатели роста находились в пределах  $22,8 \pm 8,4$ – $35,4 \pm 8,6$ , средняя высота регенерантов карельской березы и межвидового гибрида не превышала  $20,3 \pm 11,3$ – $29,2 \pm 14,6$  мм и было отмечено отставание роста большинства регенерантов на том же этапе культивирования. При этом кластеризация показателей высот стволиков регенерантов продемонстрировала значительный разброс значений указанного параметра внутри каждого клона.

Таким образом, полученные данные являются основой разработки методики клеточной селекции березы. Установлено, что индуцированные абиотические стрессы существенно влияют как на интенсивность каллусогенеза соматических тканей, так и на регенерационный потенциал недифференцированных тканей полученных в присутствии различных концентраций селективных агентов. Микрорастения полученные способом непрямого морфогенеза характеризовались существенной вариабельностью ростовых параметров.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант БРФФИ-МФНТ № Б22Мн-007)*

#### Список литературы

1. Скапцов, М. В. Уровни пloidности и относительного содержания ДНК в культуре клеток и тканей растений *in vitro* / М. В. Скапцов [и др.] // Биологический вестник МГПУ им. Богдана Хмельницкого. – 2016. – Вып. 6. – № 3. – С. 33–38.
2. D'Amato, F. Cytogenetics of plant cell and tissue cultures and their regenerates / F. D'Amato // CRC Critic Reviews in Plant Sciences. – 1985. – Vol. 3. – P. 73–112.
3. Karp, A. Somaclonal variation as a tool for crop improvement / A. Karp // Euphytica. – 1995. – Vol. 85. – P. 295–302.

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ИЗ РОДА *IMPATIENS* L.

Коржова Д. С., Карасёва Е. Н.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: adelinadayl17@gmail.com, Ledymc\_net@mail.ru

*В процессе проведенных исследований изучено содержание фотосинтетических пигментов в растениях различных видов рода Недотроги в течение активного периода вегетации.*

В последние годы на территории Республики Беларусь на фоне глобального изменения климата отмечается существенное увеличение численности популяций ряда инвазивных видов, в том числе недотроги мелкоцветковой и недотроги железконосной. Эти виды заселяют нарушенные местообитания, активно внедряются в естественные лесные, прибрежные, луговые фитоценозы, часто образуя значительные по площади одновидовые сообщества, что негативно сказывается на природном биоразнообразии. В связи с этим, очень важно понять, какие биотические и абиотические факторы оказывают решающее влияние на увеличение уровня их инвазивности. В этом плане представляется очень перспективным сравнение близкородственных видов растений, различающихся по инвазионному потенциалу. Поскольку признаков, надежно отличающих инвазионные виды от не инвазионных, не существует, наиболее удачным подходом является сравнение признаков, различающихся между собой близкородственными видами, среди которых есть инвазивные и аборигенные виды [1]. Это позволит не только понять природу инвазивности этих видов, но и разработать рекомендации по ограничению численности популяций этих инвазивных видов, что в свою очередь снизит их негативное влияние на естественное биоразнообразие.

Определение пигментов проводили, согласно [2], путем взятия средней пробы в виде высечек сверлом ( $d = 4$  мм) из полностью сформированного листа.

В течение 2025 года была изучена динамика содержания фотосинтетических пигментов в растениях различных видов недотрог в течение активного периода вегетации. Установлено, что содержание хлорофилла было максимальным почти в течение всего вегетационного периода в растениях недотроги обыкновенной (таблица 1). Наименьшее содержание хлорофилла отмечается в растениях недотроги мелкоцветковой. Это говорит о том, данный вид является наиболее светолюбивым среди изученных видов из рода Недотрога. Это подтверждают данные других авторов, которые указывают, что светолюбивые растения содержат, как правило, меньше хлорофилла, чем теневыносливые, – повышение содержания хлорофилла в тени направлено на увеличение поглощения света листом.

**Таблица 1 – Динамика содержания хлорофилла в растениях различных видов из рода Недотрога (мг/г сухого веса)**

| Вид растения             | Даты отбора проб |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 03.06            | 23.06 | 30.06 | 08.07 | 15.07 | 29.07 |
| Недотрога мелкоцветковая | 0.74             | 0.73  | 2.02  | 1.88  | 2.26  | 2.36  |
| Недотрога обыкновенная   | 0.95             | 1.16  | 2.17  | 2.26  | 2.84  | 2.36  |
| Недотрога железконосная  | 0.50             | 0.8   | 2.15  | 2.14  | 2.65  | 2.54  |

Анализ содержания хлорофилла в растениях недотроги мелкоцветковой, произрастающей под пологом леса (Зацань) и на открытом участке (Загорье) показал, что в условиях снижения уровня освещенности (Зацань) отмечается повышение содержания хлорофилла в тканях. Такая реакция растений на снижение интенсивности света также подтверждается исследованиями других авторов.

Динамика содержания в растениях каротиноидов в основном была идентична динамике содержания хлорофилла (таблица 2).

**Таблица 2 – Динамика содержания каротиноидов в растениях различных видов из рода Недотрога (мг/г сухого веса)**

| Вид растения             | Даты отбора проб |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 03.06            | 23.06 | 30.06 | 08.07 | 15.07 | 29.07 |
| Недотрога обыкновенная   | 0.43             | 0.49  | 0.90  | 0.98  | 1.03  | 0.83  |
| Недотрога мелкоцветковая | 0.34             | 0.31  | 0.80  | 0.80  | 0.77  | 0.83  |
| Недотрога железконосная  | 0.24             | 0.35  | 0.88  | 0.89  | 0.94  | 0.92  |

#### **Список литературы**

1. Прохоров, В. Н. Изучение аллелопатической активности инвазионных видов в связи с ограничением их распространения и возможностью использования в хозяйственно-полезных целях / В. Н. Прохоров // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 47. – С. 196–209.

2. Шлык, А. А. О спектрофотметрическом определении хлорофиллов а и b / А. А. Шлык // Биохимия. – 1968. – Т. 33, № 2. – С. 275–285.

## ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОЗЕЛЕНИ СВЁКЛЫ В УСЛОВИЯХ БИХРОМАТИЧЕСКОГО LED- ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ СООТНОШЕНИЕМ КРАСНОГО И СИНЕГО ДИАПАЗОНОВ

Кугач В. А., Скуратович Т. А., Куделина Т. Н., Молчан О. В.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: Iviktoriakugach1@gmail.com

*Изучены особенности влияния бихроматического LED-освещения с различным соотношением К/С на динамику накопление БАВ в микрозелени свёклы. Наблюдается тенденция к снижению накопления фенольных соединений, веществ с антирадикальной активностью при увеличении времени выращивания микрозелени. Максимальное накопление фенольных соединений, а также антирадикальная активность отмечались на 5 сутки выращивания при LED-освещении с К/С 0,7. Накопление флавоноидов на ранней стадии роста (5 сутки) стимулировало освещение с К/С 4, а при более длительном выращивании (7 сутки) наблюдался противоположный эффект.*

Светодиодное (LED) освещение занимает лидирующие позиции в технологиях искусственного освещения для закрытого грунта благодаря своей энергоэффективности, долговечности, минимальному тепловому излучению и возможности точной настройки спектра [2]. Это позволяет целенаправленно влиять на фотосинтез и фотоморфогенез растений на всех стадиях их роста и развития [4].

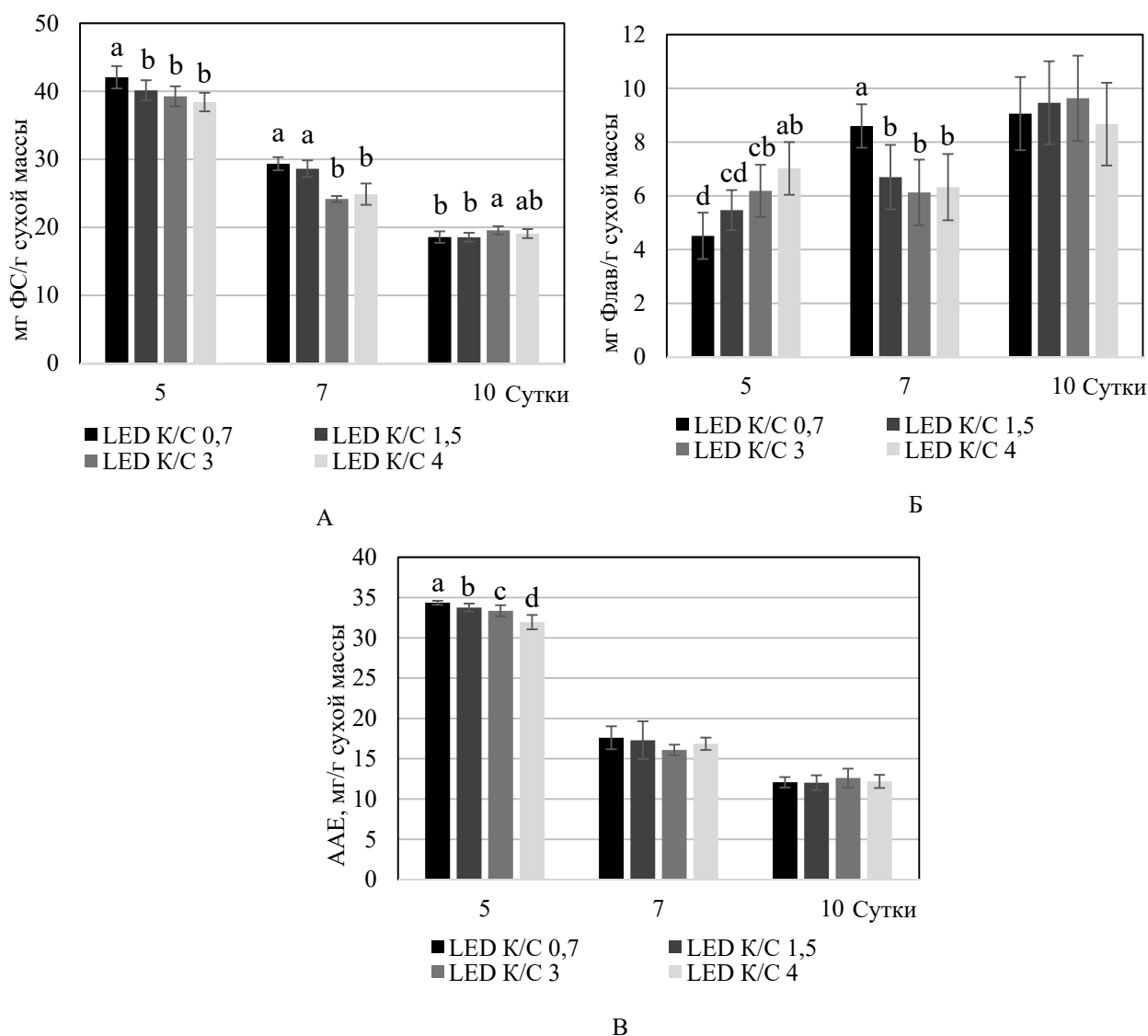
Спектральный состав света играет решающую роль в синтезе биологически активных веществ (БАВ), что позволяет значительно повышать пищевую ценность зеленных и пряно-ароматических культур. Так воздействие монохроматического синего света, монохроматического красного света, либо их бихроматических комбинаций может в различной степени стимулировать накопление каротиноидов, антоцианов, флавоноидов, тем самым повышая антиоксидантные свойства продукции [3, 4]. Подбор оптимального спектрального режима позволяет регулировать накопление БАВ, что особенно актуально для микрозелени, где короткий цикл выращивания требует максимальной эффективности использования световой энергии для синтеза целевых веществ [5]. Данный подход открывает перспективы и для космического овощеводства, где оптимизация питательной ценности урожая является особенно важной задачей.

Целью данной работы было исследование динамики накопления суммы фенольных соединений, в частности флавоноидов, а также веществ с антирадикальной активностью в микрозелени свёклы столовой в условиях бихроматического LED-освещения с различным соотношением красного и синего диапазонов (К/С).

Объектом исследования являлись побеги свёклы столовой сорта «Слава» (*Beta vulgaris* L.), полученные по технологии выращивания микрозелени. Микрозелень выращивалась на протяжении 5, 7 и 10 суток при бихроматическом LED-освещении с К/С 0,7, К/С 1,5, К/С 3 и К/С 4. Плотность фотосинтетического потока фотонов составляла  $200 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Высушенный и измельченный до состояния пудры растительный материал использовали для экстракции и биохимического анализа. Содержание суммы фенольных соединений, суммы флавоноидов и веществ с антирадикальной активностью определяли спектрофотометрически общепринятыми методами с применением реактива Фолина-Чокальтеу, хлорида алюминия и 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH), соответственно. Статистическую обработку данных выполняли с использованием табличного процессора Microsoft Excel и программы STATISTICA 8. Для оценки достоверности различий между экспериментальными вариантами применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), U-тест Манна-Уитни. Различия показателей считали достоверными при  $p \leq 0,05$  [1].

Светодиодный свет с соотношением красного и синего диапазонов К/С 0,7 стимулирует накопление фенольных соединений в микрозелени свёклы на 5 сутки её выращивания в сравнении с другими вариантами тестируемого освещения (рисунок 1А). На 7 сутки роста растений наиболее оптимальным для накопления фенольных соединений являются варианты бихроматического LED-освещения с К/С 0,7 и К/С 1,5. На 10 сутки показатель накопления был достоверно выше при К/С 3, чем при более низких К/С.

На 5 сутки выращивании микрозелени свёклы под бихроматическим LED-освещением наблюдалась тенденция увеличения накопления флавоноидов с увеличением дозы красного света (рисунок 1Б). Картина накопления флавоноидов на 7 сутки выращивания противоположна: максимальное содержание отмечено при освещении с К/С 0,7, где доза синего света наибольшая. Достоверных отличий среди показателей накопления флавоноидов на 10 сутки не выявлено.



**Рисунок 1 – Динамика накопления суммы фенольных соединений (А), суммы флавоноидов (Б), веществ с антирадикальной активностью (В) в микрозелени свёклы столовой «Слава» в условиях бихроматического LED-освещения с различным соотношением К/С**  
Значения представлены в виде среднего значения  $\pm$  стандартное отклонение; разные коэффициенты указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$

В целом динамика накопления веществ с антирадикальной активностью соответствует динамике накопления суммы фенольных соединений. Максимальная антирадикальная

активность отмечена у экстрактов 5-дневных проростков, выращенных при К/С 0,7, чем при более высоких К/С бихроматического освещения (рисунок 3В). Достоверных отличий среди показателей накопления веществ с антирадикальной активностью в микрозелени на 7 и 10 сутки не выявлено.

В целом наблюдается тенденция к снижению накопления соединений фенольной природы, веществ с антирадикальной активностью при увеличении времени выращивания микрозелени свёклы. Содержание фенольных соединений на 5 сутки в среднем выше на 33% и 53%, чем на 7 и 10 сутки выращивания; в отношении антирадикальной активности – показатель повышается на 49% и 63% соответственно. При этом среди тестируемых вариантов бихроматического LED-освещения стимуляцию накопления фенольных соединений, веществ с антирадикальной активностью на 5 сутки роста оказывает освещение с К/С 0,7, то есть регуляторный эффект синего света более выражен на ранних стадиях роста микрозелени свёклы.

Содержание же флавоноидов на 5 и 7 сутки выращивания было сравнимо, а на 10 сутки повышалось в среднем на 31%. При этом отмечен стимулирующий эффект освещения с наибольшей дозой красного света на ранней стадии роста микрозелени (5 сутки), а при более длительном выращивании (7 сутки) наблюдался противоположный результат или его отсутствие (10 сутки).

*Работа выполнена в рамках задания ГП «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 гг. по НИР «Разработать критерии адаптации растений к условиям искусственных миниэкосистем».*

#### **Список литературы**

1. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.
2. Современное состояние, тенденции и перспективы развития светодиодов для освещения / С. И. Лишик, В. С. Поседейко, Ю. В. Трофимов, В. И. Цвирко // Светотехника. – 2017. – №1. – С. 9–17.
3. Holopainen, J.K. New Light for Phytochemicals / J.K. Holopainen, M. Kivimaenpaa, R. Julkunen-Tiitto // Trends in Biotechnology. – 2018. – Vol. 36, № 1. – P. 7–10. 5
4. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops / M. Al Murad, K. Razi, B. R. Jeong [et al.] // Sustainability. – 2021. – DOI: 10.3390/su13041985.
5. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture / Y. Zhang, Z. Xiao, E. Ager [et al.] // Journal of Future Foods. – 2021. – Vol. 1, №. 1. – P. 58–66.

## ОЦЕНКА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ *ARABIDOPSIS THALIANA* ДИКОГО ТИПА И МУТАНТОВ *wei8-1tar1-1* И *ahk2* ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ СООТНОШЕНИЯ КРАСНОГО И СИНЕГО ДИАПАЗОНОВ В ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОМ LED ОСВЕЩЕНИИ

Куделина Т. Н.<sup>1</sup>, Кривобок А. С.<sup>2</sup>, Бибикова Т. Н.<sup>3</sup>, Молчан О. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: 10tan10@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

*Приведены данные важной роли гистидинкиназы АНК2 и участие триптофанаминотрансфераз ТАА и ТАRs в стимуляции роста вегетативных органов и формирования фотосинтетического аппарата Arabidopsis thaliana при соотношения красной и синей областей (К/С) 4 и 6 в сложных спектрах. При LED освещении, включающем все области видимой части спектра, с К/С 4 и 6 увеличивалась масса растений, содержание фотосинтетических пигментов, поверхностная плотность листьев, длина главного корня, количество и длина боковых корней, размер меристематической зоны главного и боковых корней у A. thaliana дикого типа.*

LED освещение (LED, от англ. Light Emission Diodes) считается эффективным и экологически безопасным способом регуляции метаболизма, морфогенеза, стимуляции роста и повышения продуктивности растений [1]. Длины волн в спектре светодиодных источников освещения можно точно регулировать и таким образом оптимизировать освещение под конкретные задачи. Использование определенных спектров может быть применено для стимуляции нужных путей биосинтеза [2]. Однако все еще не выявлены оптимальные для разных растений и целей культивирования соотношения длин волн в полихроматических спектрах освещения. Свет – один из самых важных факторов регуляции морфогенеза растений [3]. В значительной мере это может быть связано с влиянием на фитогормональную систему, так как известно, что под действием света меняется соотношение фитогормонов и их действие в растениях [4, 5]. Механизмы взаимодействия светового и фитогормонального сигналов могут быть установлены с использованием модельных растений, таких как арабидопсис (*Arabidopsis thaliana* L.). Анализ процессов роста и развития мутантов *A. thaliana* с избирательным подавлением функции генов является одним из важнейших подходов при исследовании влияния на растительный организм внешних факторов. Поэтому целью данной работы была оценка влияния полихроматического LED-освещения с различным соотношением красного (К) и синего (С) диапазонов (К/С) на рост и развитие растений арабидопсиса дикого типа, а также мутантов *wei8-1tar1-1* с пониженным содержанием ауксинов и *ahk2* мутантов с инактивированным геном рецепторов цитокининов – гистидинкиназы АНК2.

Объектом исследований являлись растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа (Col 0, wt), мутанты *wei8-1tar1-1* и *ahk2*. Мутанты *wei8-1tar1-1* в результате отсутствия ключевых ферментов основного ТАА/УУС-пути синтеза ауксина триптофанаминотрансфераз ТАА и ТАRs характеризуются более низким уровнем индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) [6]. У инсерционных нокаут-мутантов *ahk2* инактивирован ген рецептора цитокинина гистидинкиназы АНК2 (*Arabidopsis Histidine Kinase*) [7]. В работе использован модифицированный способ культивирования растений *A. thaliana* в стерильных условиях на фитогеле, при котором вся корневая система находится на поверхности водопроницаемой гидратцеллюлозной пленки [8]. Растения освещали люминесцентными (LL) и светодиодными (LED) светильниками при 24-часовом фотопериоде. В спектральном составе LED-освещения, содержащем все длины волн от 400 до 800 нм, варьировали соотношения

К/С от 1 до 6 (LED 1 = 1, LED 2 = 2, LED 3 = 4, LED 4 = 6) при суммарном содержании К+С  $73,0 \pm 2,6$  % от общего уровня плотности потока фотонов  $100 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Статистическую обработку данных выполняли с использованием Microsoft Excel и программы STATISTICA 8. Для оценки достоверности различий между экспериментальными вариантами применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и U-тест Манна-Уитни. Различия показателей считали достоверными при  $p \leq 0,05$  [9].

Оценивали влияние полихроматического LED освещения с разным соотношением К/С на рост надземной части (количество и площадь листьев, вегетативная масса, содержание фотосинтетических пигментов, поверхностная плотность листьев (ППЛ)) и корневой системы (длина главного (ГК) и боковых (БК), количество боковых, размер меристематической зоны корней) *A. thaliana*. LED освещение с К/С 4 (LED 3) и 6 (LED 4) стимулировало накопление массы листьев и корней, образование листьев, увеличение их площади и толщины, синтез хлорофилла, увеличение длины ГК, БК, образование БК у растений дикого типа и в меньшей степени у *wei8-1tar1-1*. У мутантов *wei8-1tar1-1* при LED 3 и LED 4 масса листьев и корней были значительно меньше по сравнению с диким типом, в то время как при LED 1 и LED 2 различия между диким типом и мутантом практически отсутствовали. По длине БК мутанты *wei8-1tar1-1* имели минимальные отличия от *wt*, в то время как длина главного корня была значительно меньше (рисунок 1А, Б).

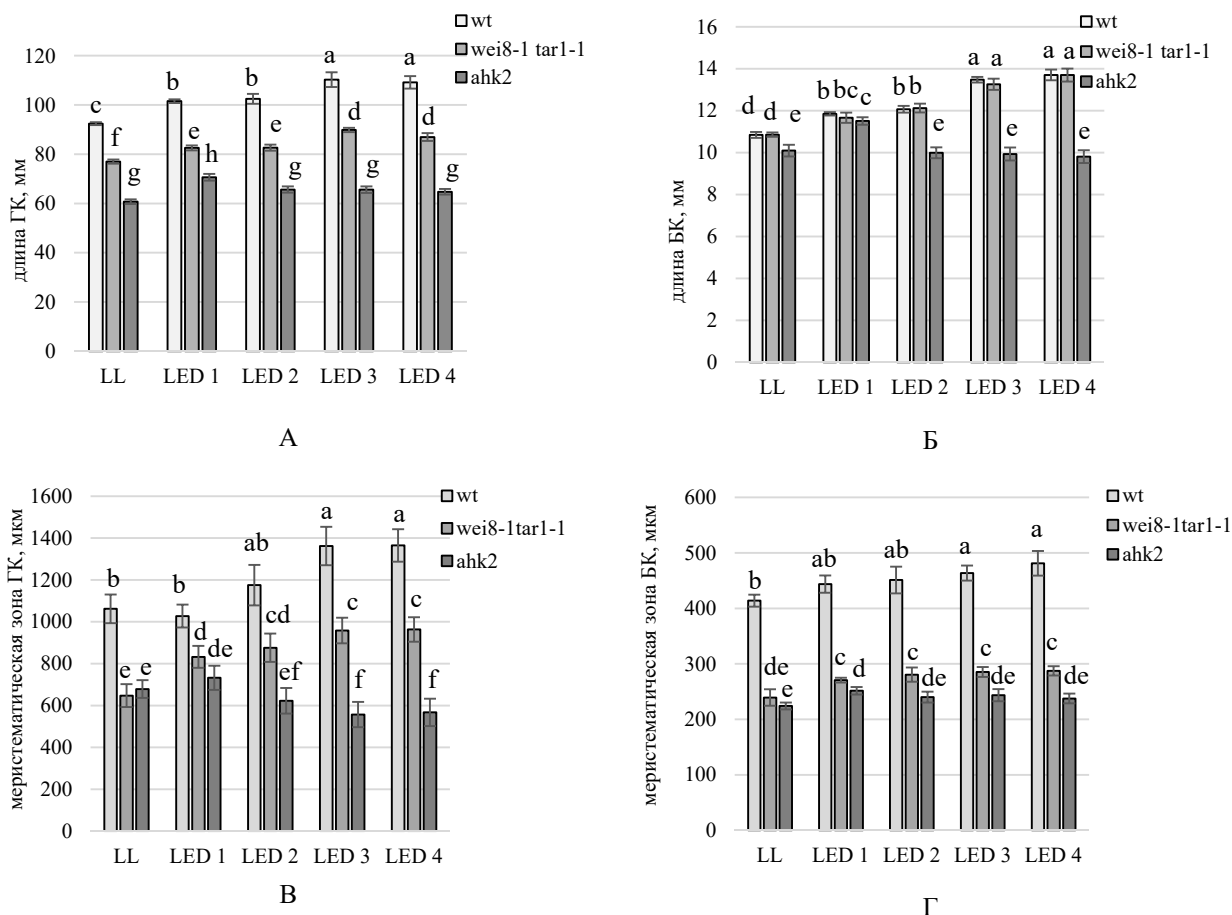


Рисунок 1 – Влияние полихроматического LED освещения с различным соотношением К/С на длину ГК (А), БК (Б), меристематической зоны ГК (В), БК (Г) разные коэффициенты указывают на достоверные различия при  $p \leq 0,05$

Накопление массы растениями при полихроматическом освещении с К/С 4 и 6, возможно, происходит при активации пути синтеза ауксинов с участием белков TAA1 и TAR1. У мутантов *ahk2* при LED 2, LED 3 и LED 4 отмечена значительно меньшая

вегетативная масса по сравнению с растениями дикого типа, что может указывать на важную роль гистидинкиназы АНК2 в реализации эффектов света с повышенным К/С. Ahk2 мутанты по всем показателям имели максимальные различия с wt, особенно при LED 3 и LED 4, а мутанты *wei8-1tar1-1* отличались меньше (рисунок 1А, Б). Увеличение длины корня происходит за счет деления клеток меристематической зоны. У растений дикого типа и мутантов *wei8-1tar1-1* длина меристематической зоны ГК и БК была больше при LED 3 и LED 4 по сравнению с вариантом с самым низким К/С (LED 1). При LED 2 данный показатель имел промежуточное значение между LED 1 и LED 3. У *ahk2* мутантов длина меристемы ГК увеличивалась только при LED 1, у БК – была одинаковой при всех вариантах LED освещения (рисунок 1 В, Г).

Таким образом, стимуляция роста ГК, меристематической зоны и образования БК при освещении с высоким К/С, вероятнее всего, происходит в результате активации триптофанаминотрансфераз ТАА и TARs. Отсутствие у мутантов *ahk2* увеличения длины ГК, инициации и роста БК, накопления сухой массы надземной части и корневой системы по сравнению с диким типом при LED 3 и LED 4 может указывать на ключевое значение гистидинкиназы АНК2 в регуляции роста вегетативных органов *A. thaliana* светом с повышенным уровнем К диапазона в спектре.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (гранты БРФФИ № Б19РМ-065 и РФФИ Бел\_мол\_а 19-54-04015, № Б21М-097).*

#### Список литературы

1. Fylladitakis, E. D. Controlled LED Lighting for Horticulture: A Review / E. D. Fylladitakis // Open J. Appl. Sci. – 2023. – Vol. 13. – P. 175–188.
2. Horticultural lighting system optimalization: A review / L. Sipos, I. F. Boros, L. Csambalik [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2020. – Vol. 273. – 109631. doi: doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109631.
3. Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review / S. Sena, S. Kumari, V. Kumar, A. Husen // Current Research in Biotechnology. – 2024. – Vol. 7. – P. 2590–2628.
4. Integration of Light and Auxin Signaling / K. J. Halliday, J. F. Martinez-Garcia, E. M. Josse // Cold Spring Harb Perspect Biol. – 2009. – Vol. 1 (6). – P. a001586. doi: 10.1101/cshperspect.a001586.
5. HY5 is a point of convergence between cryptochrome and cytokinin signalling pathways in *Arabidopsis thaliana* / F. Vandenbussche, Y. Habricot, A. S. Condiff [et al.] // Plant J. – 2007. – Vol. 49. – P. 428–441. doi: 10.1111/j.1365-3113X.2006.02973.x
6. TAA1-Mediated Auxin Biosynthesis Is Essential for Hormone Crosstalk and Plant Development / A. N. Stepanova, J. Robertson-Hoyt, J. Yun [et al.] // Cell. – 2008. – Vol. 133 (1). – P. 177–191. doi: doi.org/10.1016/j.cell.2008.01.047.
7. Мембранные рецепторы цитокинина и их регуляторная роль в реакции растений *Arabidopsis thaliana* на фотоокислительный стресс в условиях водного дефицита / М. Н. Данилова, Н. В. Кудрякова, П. Ю. Воронин [и др.] // Физиология растений. – 2004. – Т. 61, №4. – С. 466–475.
8. Применение гидратцеллюлозной пленки для исследования роста и развития корневой системы модельного растения *Arabidopsis thaliana* L. / А. С. Кривобок, И. О. Коновалова, Т. Н. Куделина [и др.] // Биотехнология. – 2020. – Т. 36, №1. – С. 36–43.
9. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.

## РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ БАЗИЛИКА ТОНКОЦВЕТНОГО ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ СОСТАВА КОРНЕОБИТАЕМОЙ СРЕДЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ

Куделина Т. Н., Молчан О. В.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: 10tan10@mail.ru

Изучены основные ростовые и биохимические параметры растений базилика тонкоцветного при варьировании в составе корнеобитаемой среды содержания вермикулита и агроперлита от 10 до 50 % и интенсивности освещения 100 и 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. При ППФ 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> растения характеризовались более высокой, чем при 100 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> интенсивностью ростовых процессов: ускоренным ростом стебля, боковых побегов и генеративных органов, повышенным содержанием хлорофилла и флавонолов в листьях. При ППФ 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> добавление в корнеобитаемую среду 10 % агроперлита ускоряло вступление растений в генеративную фазу, 50 % агроперлита - вызывало снижение ростовых процессов и содержания хлорофилла.

Туласи, или Базилик тонкоцветный (*Ocimum tenuiflorum* L.) – кустарник семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Широко используется в кулинарии и в лечебных целях, является богатым источником биологически активных соединений, произрастает в Индии и других странах Юго-Восточной Азии [1, 2]. По данным Национального совета по лекарственным растениям (NMPB, Индия) *Ocimum tenuiflorum* L. является приоритетным высококачественным лекарственным сырьем для коммерческого выращивания [3]. Высокая антиоксидантная активность компонентов базилика священного является одной из основных причин его фармакологической ценности. В значительно высоком содержании в базилике священном был также обнаружен цинк [4]. Однако существует множество факторов, которые влияют на рост, биомассу, выход эфирного масла ароматических лекарственных растений [3]. Туласи может иметь множество вариаций в росте, образовании биомассы, выходе и составе масла в зависимости от условий выращивания и онтогенетической стадии во время сбора урожая даже в естественных условиях произрастания. Поэтому определение оптимальных регулируемых условий выращивания базилика тонкоцветного, включая освещение и состав корнеобитаемой среды, является актуальным для получения растительного сырья с высоким содержанием биологически активных веществ.

Объектом исследования являлись растения базилика тонкоцветного *Ocimum tenuiflorum* L. (туласи). Для посадки использовали торфогрунт АГРОБАЛТ-С. При этом варьировали состав корнеобитаемой среды путем добавления к торфогрунту агроперлита (А) и вермикулита (В) при их содержании 10, 25, 50 %. Полив осуществляли водным раствором комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения с микроэлементами PG mix (YARA, Нидерланды). Растения культивировали при люминесцентном освещении интенсивностью 100 и 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. Проводили измерение ростовых параметров (высота, количество листьев, междоузлий, боковых побегов, толщина стебля,) содержание хлорофилла, флавонолов, распределение углерод- и азотсодержащих соединений (индекс NBI) с помощью неdestructивного оптического сенсора Dualox Scientific. Статистическую обработку данных выполняли с использованием Microsoft Excel и программы STATISTICA 8. На графиках приведены средние значения ( $\bar{x}$ ) и ошибка средней величины ( $\bar{x} \pm S_x$ ). Для оценки достоверности различий между экспериментальными вариантами применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и U-тест Манна-Уитни. Различия показателей считали достоверными при  $p \leq 0,05$  [5].

При интенсивности освещения 100 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> растения, культивируемые при концентрации вермикулита 10 и 25 %, не отличались от растений контрольного варианта по основным показателям ростовой активности, содержанию хлорофилла и флавонолов в

листьях и показателю распределение углерод- и азотсодержащих соединений (NBI). Длина стебля и междоузлий, количество боковых побегов увеличивались при концентрации вермикулита 50 %. Максимальная длина и толщина стебля отмечена у растений при добавлении в корнеобитаемую среду 10 % агроперлита, при 25 % увеличивалось содержание хлорофилла (таблица 1).

При ППФ 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> и добавлении вермикулита 10, 25, 50 %, агроперлита 10 и 25 % значительных отличий от контроля не обнаружено. Однако в варианте с агроперлитом 10 % отмечено раннее вступления растений в генеративную фазу. В варианте с добавлением агроперлита 50 % растения имели меньшую длину и толщину стебля, количество листьев, междоузлий и их длину, меньше хлорофилла, чем у растений контрольного варианта (таблица 1).

**Таблица 1- Основные ростовые и биохимические параметры растений базилика тонкоцветного при разном процентном содержании в составе корнеобитаемой среды вермикулита (В) и агроперлита (А) и интенсивности освещения 100 и 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> на 50 сутки культивирования**

| Параметр                       | Плотность потока фотонов в (ППФ), мкмоль·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> | Вариант    |           |           |            |           |            |            |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
|                                |                                                                           | К          | В10       | В25       | В50        | А10       | А25        | А50        |
| Длина стебля, см               | 100                                                                       | 20,6±1,44  | 22,8±0,91 | 22,7±0,58 | 24,6±0,71  | 26,9±1,12 | 21,4±0,70  | 20,9±0,83  |
|                                | 200                                                                       | 34,3±2,41  | 33,2±1,28 | 34,0±2,53 | 29,1±1,73  | 32,8±2,04 | 29,8±1,12  | 24,6±1,91  |
| Листья, шт                     | 100                                                                       | 12±0,73    | 13±0,39   | 12±0,22   | 13±0,39    | 14±0,29   | 14±0,53    | 13±0,58    |
|                                | 200                                                                       | 14±0,27    | 14±0,29   | 14±0,29   | 14±0,25    | 14±0,45   | 14±0,22    | 12±0,53    |
| Междоузлия, шт                 | 100                                                                       | 8±0,34     | 9±0,19    | 9±0,16    | 9±0,18     | 9±0,15    | 8±0,18     | 9±0,19     |
|                                | 200                                                                       | 9±0,13     | 9±0,19    | 9±0,14    | 8±0,18     | 9±0,16    | 9±0,18     | 8±0,29     |
| Длина междоузлия, см           | 100                                                                       | 2,4±0,09   | 2,7±0,11  | 2,6±0,05  | 2,9±0,14   | 3,1±0,17  | 2,6±0,05   | 2,5±0,07   |
|                                | 200                                                                       | 3,9±0,24   | 3,9±0,17  | 4,2±0,30  | 3,5±0,24   | 3,8±0,27  | 3,5±0,15   | 2,9±0,20   |
| Диаметр стебля, мм             | 100                                                                       | 2,7±0,15   | 2,9±0,04  | 2,7±0,08  | 2,7±0,05   | 2,8±0,10  | 2,9±0,13   | 2,7±0,03   |
|                                | 200                                                                       | 3,2±0,09   | 3,1±0,05  | 3,0±0,06  | 2,7±0,06   | 2,9±0,06  | 3,0±0,08   | 2,8±0,12   |
| Боковые побеги, шт             | 100                                                                       | 13±0,56    | 14±0,45   | 14±0,34   | 14±0,29    | 14±0,22   | 14±0,83    | 13±0,37    |
|                                | 200                                                                       | 15±0,59    | 16±0,01   | 14±0,53   | 15±0,37    | 15±0,56   | 16±0,29    | 13±0,85    |
| Хлорофилл, мг/дм <sup>2</sup>  | 100                                                                       | 3,3±0,37   | 3,2±0,38  | 3,1±0,32  | 3,6±0,39   | 3,6±0,32  | 3,6±0,33   | 3,5±0,24   |
|                                | 200                                                                       | 3,9±0,45   | 4,4±0,41  | 3,7±0,44  | 4,3±0,31   | 4,2±0,21  | 4,2±0,36   | 3,6±0,45   |
| Флавонолы, мкг/см <sup>2</sup> | 100                                                                       | 0,3±0,05   | 0,3±0,03  | 0,3±0,04  | 0,3±0,05   | 0,4±0,02  | 0,4±0,05   | 0,4±0,04   |
|                                | 200                                                                       | 0,5±0,10   | 0,5±0,06  | 0,6±0,10  | 0,5±0,04   | 0,5±0,04  | 0,6±0,05   | 0,5±0,07   |
| Индекс NBI, отн.ед.            | 100                                                                       | 100,9±13,8 | 106,2±9,1 | 93,3±14,0 | 105,6±16,6 | 93,2±11,5 | 102,1±13,5 | 100,9±12,3 |
|                                | 200                                                                       | 83,8±12,7  | 88,2±8,9  | 69,1±15,3 | 79,2±7,7   | 83,7±7,7  | 77,6±7,4   | 71,1±6,1   |

Таким образом, при освещении с плотностью потока фотонов (ППФ) 100 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> наиболее эффективными для стимуляции ростовых процессов добавками в корнеобитаемую среду были 50 % вермикулита, 10 % агроперлита. При ППФ 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> растения характеризовались более высокой, чем при 100 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> интенсивностью ростовых процессов: ускоренным ростом стебля, боковых побегов и генеративных органов, увеличением содержания хлорофилла и флавонолов в листьях. При ППФ 200 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> внесение 10, 25 и 50 % вермикулита, 10 и 25 % агроперлита в корнеобитаемую среду к изменению ростовых параметров не приводило. При этом добавление 10 % агроперлита стимулировало образование соцветий, 50 % – вызывало снижение ростовых процессов по сравнению с контролем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б25-052 «Регуляторное влияние би- и полихроматического освещения с варьируемым соотношением красного и синего диапазонов на адаптогенные свойства растений *Ocimum tenuiflorum* L. в условиях моделируемой микрогравитации»).

#### Список литературы

1. *Ocimum sanctum* Linn. A reservoir plant for therapeutic applications: An overview / P. Pattanayak, P. Behera, D. Das, S. K. Panda // Pharmacognosy Reviews. – 2010. – Vol 4. – Iss. 7. – P. 95–105.
2. Commercial cultivation and collection aspects and uses of tulsi (*Ocimum sanctum*) PLANT / N. M. Ghadage, R. R. Bagwale, R. G. Shinde, R. R. Bendgude // International Journal of Novel Research and Development. – 2024. – Vol. 9, Iss. 2. – P. 2456–4184.
3. Effect of harvesting time and height of harvest on the performance of tulsi (*Ocimum tenuiflorum* L.) under shade and open condition / D. George, P. V. Sindhu, M. V. Menon // Journal of Medicinal Plants Studies. – 2021. – Vol. 9 (2). – P. 110–114.
4. Thongtip, Promotion of seed germination and early plant growth by KNO<sub>3</sub> and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory / Thongtip [et al.] // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – P. 6995. doi: doi.org/10.1038/s41598-022-11001-5.
5. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.

**IN SILICO ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ  
АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE*) В ОТВЕТ НА  
ИНФИЦИРОВАНИЕ ПАТОГЕННЫМИ ГРИБАМИ**

Лазаревич Д. К., Иванов О. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: dashapetom743@gmail.com

Работа посвящена комплексному биоинформатическому анализу антимикробных пептидов (АМП) ячменя с целью выявления генов, экспрессируемых в ответ на инфицирование фитопатогенными грибами. Были использованы программные инструменты предсказания белков, анализа их структуры, принадлежности к семействам, а также базы экспрессионных данных. В результате отбора и фильтрации было определено 22 гена-кандидата из трех семейств АМП, которые могут служить маркерами иммунного ответа и перспективными объектами для дальнейшего молекулярно-биологического исследования.

**Введение.** Антимикробные пептиды (АМП) представляют собой низкомолекулярные белки, синтезируемые различными организмами в ответ на патогенное воздействие. У растений они входят в состав врожденной иммунной системы, обеспечивая быструю и локализованную защиту от широкого спектра патогенов [1]. У ячменя (*Hordeum vulgare*) АМП также участвуют в формировании устойчивости к грибным патогенам, однако их состав и экспрессия в условиях патогенного воздействия изучены фрагментарно [2]. Современные методы биоинформатического анализа позволяют проводить предсказание и фильтрацию АМП, а также оценку их транскрипционной активности на основе общедоступных экспрессионных баз данных.

Целью данной работы являлась идентификация и анализ экспрессии генов АМП ячменя в ответ на инфицирование грибными патогенами, а также формирование набора целевых генов для последующего анализа методом полимеразной цепной реакции.

**Материалы и методы.** Предварительный отбор аминокислотных последовательностей растительных АМП осуществлялся по данным специализированных баз DRAMP и CAMPR<sub>4</sub> [3, 4]. Анализ был сосредоточен на представителях трёх семейств: дефензины, липид-переносящие белки (ЛПБ) и гевеины. Для удаления N-концевых сигнальных последовательностей использовалась программа SignalP 6.0 [5]. Определение субклеточной локализации и отбор секретируемых белков проводился при помощи DeepLoc [6]. Выявление последовательностей GPI-якорей осуществлялось с помощью PredGPI, а предсказание трансмембранных доменов выполнялось инструментами анализа программной среды SMART [7, 8]. Далее, с использованием базы InterPro, для каждого семейства были получены уникальные идентификаторы InterPro ID, по которым затем производился отбор дифференциально экспрессируемых генов в базе Expression Atlas [9, 10]. В отбор включались эксперименты с ячменем и пшеницей, инфицированными фитопатогенными грибами (*Blumeria*, *Fusarium* и др.), с анализом экспрессии в динамике. Критериями отбора выступали значение  $\log_2$ -fold change > 1, позволяющее отобрать гены с повышенной экспрессией, а также значение p-value < 0.05. Для высокоэкспрессирующихся генов дефензинов, ЛПБ и гевеинов было проведено парное выравнивание аминокислотных последовательностей с использованием BLASTp относительно предсказанного набора антимикробных пептидов. Гены, отобранные из *Triticum aestivum*, дополнительно проверялись на наличие гомологичных последовательностей в геноме ячменя. Аминокислотные последовательности ЛПБ и гевеинов из ячменя и пшеницы были дополнительно выровнены по геному *Hordeum vulgare* с использованием платформы Phytozome с целью выявления потенциальных гомологов и исключения повторяющихся последовательностей [11].

**Результаты.** Анализ генома ячменя (сорт Morex), представленного в базе Phytozome, с использованием алгоритма BLAST позволил идентифицировать 92 уникальные

последовательности дефензинов, 50 последовательностей ЛПБ, а также 16 гевеинов. Транскрипционный анализ проводился с использованием данных RNA-seq, депонированных на сервере Expression Atlas. Так как доступные экспериментальные данные для ячменя включали результаты анализа экспрессии в условиях инфицирования *Blumeria graminis* (биотроф), а фитопатоген в исследуемой нами фитопатосистеме (*Bipolaris sorokiniana*) является гемибиотрофом, отличающимся по стратегии взаимодействия с растением, дополнительно в анализ были включены данные экспериментов фитопатосистемы пшеница – *Fusarium graminearum*, т.к. пшеница – близкородственный ячменю вид, а биологические особенности формирования инфекционного интерфейса у *F. graminearum* ближе к *B. sorokiniana*.

В результате экспрессионного анализа и скрининга по структурным признакам было отобрано 22 гена: 16 из ячменя и 6 из пшеницы, имеющих повышенные уровни экспрессии в различные временные отрезки после инфицирования. Из них 8 генов дефензинов, 6 генов ЛПБ, а также 8 гевеинов (таблица 1). BLAST-сравнение показало высокую степень гомологии между предсказанными АМП и выявленными в результате анализа экспрессии генами только для дефензинов (процент идентичности > 85%). Для остальных семейств отбор генов после биоинформатического анализа экспрессии базировался на признаках секретирруемости, отсутствии GPI-якорей и трансмембранных участков. Дополнительная проверка с помощью базы Phytozome позволила исключить повторяющиеся и недостоверные варианты. Окончательный набор генов представляет собой целевые последовательности, пригодные для дальнейшего подбора праймеров и проведения ПЦР в условиях заражения *B. sorokiniana*.

Таблица 1 – Список отобранных генов-кандидатов АМП ячменя и пшеницы

| Группа АМП | Идентификатор гена          | Значение $\log_2\text{-fold change}$ | Организм-источник                   |
|------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| дефензины  | HORVU4Hr1G002650            | 1,6 – 4,6                            | ячмень                              |
| дефензины  | HORVU4Hr1G063690            | 1,3                                  | ячмень                              |
| дефензины  | HORVU1Hr1G010230            | 1,4                                  | ячмень                              |
| дефензины  | HORVU1Hr1G002100            | 1,1 – 1,9                            | ячмень                              |
| дефензины  | HORVU5Hr1G051970            | 1,8 – 2,9                            | ячмень                              |
| дефензины  | HORVU.MOREX.r2.5HG0352030.1 | 1,4                                  | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |
| дефензины  | HORVU.MOREX.r2.3HG0252690.1 | 2                                    | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |
| дефензины  | HORVU.MOREX.r2.3HG0190250.1 | 4,1                                  | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |
| ЛПБ        | HORVU1Hr1G069800            | 1,1 – 3,2                            | ячмень                              |
| ЛПБ        | HORVU3Hr1G093080            | 1,1 – 1,7                            | ячмень                              |
| ЛПБ        | HORVU6Hr1G077900            | 1,1 – 1,6                            | ячмень                              |
| ЛПБ        | HORVU2Hr1G114680            | 1,1                                  | ячмень                              |
| ЛПБ        | HORVU2Hr1G102110            | 1,5                                  | ячмень                              |
| ЛПБ        | HORVU0Hr1G000030            | 2,3                                  | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |
| гевеины    | HORVU0Hr1G016310            | 1,3 – 4,4                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU2Hr1G085270            | 1,1 – 2,9                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU7Hr1G113270            | 1,2 – 1,4                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU1Hr1G062030            | 1,1 – 1,3                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU1Hr1G052430            | 1,1 – 4,1                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU2Hr1G085280            | 1,6 – 3,6                            | ячмень                              |
| гевеины    | HORVU7Hr1G121850            | 3,1 – 4,8                            | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |
| гевеины    | HORVU3Hr1G064470            | 3,0 – 4,2                            | пшеница (подобран гомолог у ячменя) |

Закключение. Проведённый биоинформатический анализ, включающий структурно-функциональный отбор, поиск гомологов и оценку дифференциальной экспрессии, позволил выделить 22 гена, кодирующих антимикробные пептиды (дефензины, липид-переносящие белки и гевеины), экспрессия которых повышается в ответ на инфицирование

фитопатогенными грибами. Использование данных транскриптомного анализа, сопоставленных с предсказанными аминокислотными последовательностями, обеспечило надёжную селекцию кандидатов с признаками биологической активности и вовлечённости в иммунный ответ растения. В результате из большого пула потенциальных антимикробных пептидов (более 150 последовательностей) был сформирован целевой набор генов, обладающих признаками секретируемых пептидов без GPI-якорей и трансмембранных доменов, демонстрирующих характерную экспрессионную активность при патогенном воздействии. Полученные данные представляют собой основу для последующего экспериментального подтверждения методом ПЦР и количественной оценки транскрипционной активности с использованием ПЦР-РВ, а также могут быть применены при разработке молекулярных маркеров устойчивости и изучении механизмов иммунной защиты ячменя от грибных инфекций.

#### Список литературы

1. The plant immune system: From discovery to deployment / J. D. G. Jones, B. J. Staskawicz, J. L. Dangl // Cell. – 2024. – Vol. 187, № 9. – P. 2095–2116.
2. Барашкова, А. С. Потенциал антимикробных пептидов растений для защиты сельскохозяйственных культур от возбудителей болезней / А. С. Барашкова, Е. А. Рогожин // Plant Prot. News Vestn. Zashchity Rasteniy. – 2023. – № 3. – С. 120–136.
3. Welcome To Dramp Database [Электронный ресурс]. – URL: <http://dramp.cpu-bioinfor.org/> (дата обращения: 31.07.2025).
4. CAMPR4: a database of natural and synthetic antimicrobial peptides. – ICMR-NIRRCH [Электронный ресурс]. – URL: <https://nirrch.res.in/publication/campr4-a-database-of-natural-and-synthetic-antimicrobial-peptides/> (дата обращения: 31.07.2025).
5. SignalP 6.0 - DTU Health Tech - Bioinformatic Services [Электронный ресурс]. – URL: <https://services.healthtech.dtu.dk/services/SignalP-6.0/> (дата обращения: 31.07.2025).
6. DeepLoc 2.0 - DTU Health Tech - Bioinformatic Services [Электронный ресурс]. – URL: <https://services.healthtech.dtu.dk/services/DeepLoc-2.0/> (дата обращения: 31.07.2025).
7. PredGPI - Bologna Biocomputing Group [Электронный ресурс]. – URL: <https://busca.biocomp.unibo.it/predgpi/> (дата обращения: 31.07.2025).
8. SMART: Main page [Электронный ресурс]. – URL: <http://smart.embl-heidelberg.de/> (дата обращения: 31.07.2025).
9. InterPro [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/interpro/> (дата обращения: 31.07.2025).
10. Experiments < Expression Atlas < EMBL-EBI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/gxa/experiments> (дата обращения: 31.07.2025).
11. Phytozome [Электронный ресурс]. – URL: <https://phytozome-next.jgi.doe.gov/> (дата обращения: 31.07.2025).

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *LYCIUM* В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Лапченко Е. А.

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: [krvuj.mhr18@gmail.com](mailto:krvuj.mhr18@gmail.com)

В статье представлены результаты исследования семенного материала рода *Lycium* (*L. barbarum*, *L. ruthenicum*, *L. chinense*). Проведён сбор, подготовка и анализ плодов. Изучены особенности набухания семян, морфометрические характеристики и стадии прорастания в лабораторных условиях. Наилучшая всхожесть (86%) отмечена у *Lycium ruthenicum*. Работа предоставляет научные данные для дальнейшего изучения адаптационного потенциала этих видов.

**Введение.** Род *Lycium* (Solanaceae) включает более 80 видов кустарников и полукустарников, распространённых преимущественно в аридных и семиаридных зонах Евразии, Северной Америки, Африки и Австралии. Наиболее известными представителями, имеющими хозяйственное, фармакологическое и декоративное значение, являются *L. barbarum* L., *L. ruthenicum* Murr. и *L. chinense* Mill. Плоды этих растений, известные в мировой культуре как «ягоды годжи», представляют собой источник биологически активных веществ (БАВ) с комплексным влиянием на физиологические системы организма человека.

Особый интерес в последние десятилетия вызывает их уникальная физиолого-экологическая характеристика – солеустойчивость. Данный адаптационный признак обусловлен сочетанием морфоанатомических и биохимических механизмов, включая развитую систему корневых волосков, повышенную активность антиоксидантных ферментов, наличие осмопротекторов (пролин, бетаин) и способность избирательного ионного транспорта в условиях высокого осмотического давления. Эта особенность делает *Lycium* перспективным объектом для интродукции и возделывания в регионах с неблагоприятными почвенно-гидрологическими условиями, включая территории с вторичным засолением почв, формирующимся после антропогенной трансформации ландшафтов.

В частности, *L. ruthenicum* демонстрирует высокую толерантность к засолению и засушливому климату, что подтверждается её успешным произрастанием на деградированных почвах Приаралья – регионов Казахстана и Узбекистана, где ранее располагалась акватория Аральского моря. Такие фитостабилизирующие виды играют значительную роль в иницировании процессов сукцессии на нарушенных землях, обеспечивая восстановление почвенного покрова, накопление органического вещества и закрепление песчаных субстратов.

В условиях глобальных климатических изменений, учащающихся засух и нарастающей деградации земель, формирование агроценозов с участием солеустойчивых культур приобретает не только локальное, но и международное значение. Согласно Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием [1] и ряду программ UNEP, использование адаптивных видов, устойчивых к абиотическим стрессорам, является ключевым инструментом восстановления экосистем. Глобальный отчёт о состоянии земель и экосистем (2019) акцентирует необходимость интеграции таких культур в проекты по реабилитации и устойчивому землепользованию.

Цель исследования – комплексное изучение биологических особенностей семян *L. barbarum* L., *L. ruthenicum* Murr. и *L. chinense* Mill., в лабораторных условиях, включающее определение динамики водопоглощения (набухания), лабораторной всхожести и морфометрических характеристик проростков, а также оценку влияния различных физических и химических факторов на процессы прорастания.

**Сбор и подготовка семенного материала.** Плоды растений рода *Lycium* собирались в фазе полной биологической зрелости, в сухом состоянии, что обеспечивало высокое качество

семенного материала. Морфологические признаки плодов имеют важное таксономическое значение, позволяя дифференцировать виды внутри рода.

Дереза русская (*Lycium ruthenicum* Murr.) характеризуется мелкими, шаровидными или слегка уплощёнными, многосеменными плодами чёрного или тёмно-фиолетового цвета, диаметром 4–5 мм и шириной 5–6 мм. Темная окраска обусловлена высоким содержанием антоцианов, преимущественно дельфинидина и цианидина, что подтверждается данными ВЭЖХ-анализов [2].

Дереза обыкновенная (*Lycium barbarum* L.) имеет плоды удлинённо-эллиптической или яйцевидной формы, красного или оранжево-жёлтого цвета, длиной 7–11 мм и шириной 4–8 мм. Их окраска связана с высоким содержанием каротиноидов, в том числе зеаксантина, бета-каротина и криптоксантина. По данным [3] зеаксантин в плодах *L. barbarum* представлен в форме дипальмитата, обладающего высокой биодоступностью.

Дереза китайская (*Lycium chinense* Mill.) формирует продолговатые плоды красного или оранжево-жёлтого цвета длиной 8–15 мм и шириной 4–8 мм. По морфологии они близки к *L. barbarum*, однако отличаются более мягкой кожицей и повышенным содержанием растворимых сахаров, что определяет их сладкий вкус.



Рисунок 1 – Внешний вид сухих плодов (слева на право *L. ruthenicum*, *L. barbarum*, *L. chinense*)

Для приведения растительного материала в стандартное состояние проводилась многоэтапная процедура очистки, направленная на удаление некондиционных фракций и обеспечение соответствия образцов требованиям фармакогностических стандартов. На первом этапе осуществлялся визуальный осмотр партий плодов с выделением экземпляров, имеющих признаки микробиологического или физиологического повреждения: плоды с изменённой или неравномерной окраской, следами плесневого поражения, механическими повреждениями или признаками загнивания. Также удалялись грубые, одревесневшие стебли, фрагменты измельчённого растительного сырья, нарушающие однородность партии, и посторонние примеси растительного и минерального происхождения.

Операция сортировки выполнялась на сортировочном столе в помещении с приточно-вытяжной вентиляцией, что позволяло поддерживать стабильный микроклимат и предотвращать накопление пылевых частиц и спор микроскопических грибов в воздухе рабочей зоны. Такой подход соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, изложенным в [4] и методических рекомендациях [5], регламентирующих подготовку лекарственного растительного сырья.

**Набухание и морфология семян.** Исследования сухих и набухших семян проводились с использованием микроскопа ЛОМО МСП-1 при 20-кратном увеличении. На рисунке 2 представлены микроскопические изображения сухих (верхний ряд) и набухших семян (нижний ряд) для видов *L. barbarum*, *L. ruthenicum* и *L. chinense*.

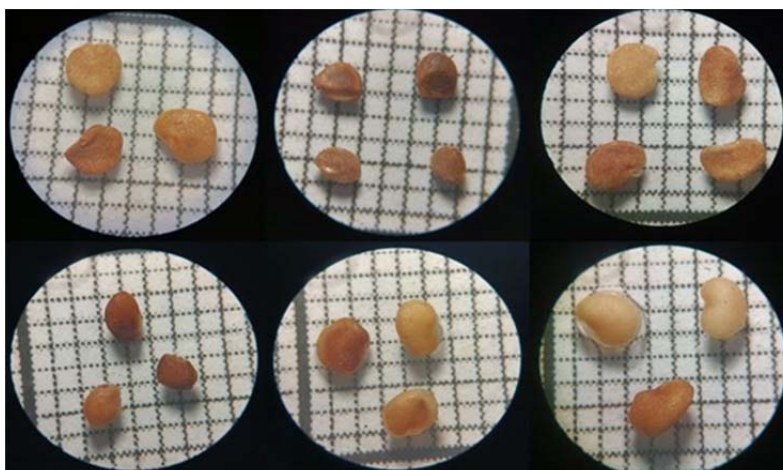


Рисунок 2 – Микроскопическое исследование сухих (верхний ряд) и набухших семян (нижний ряд), слева на право *L. barbarum*, *L. ruthenicum*, *L. chinense*

Масса 100 сухих семян и плодов представителей рода *Lycium* варьировала в широких пределах. После 24-часового замачивания семена *L. barbarum* увеличивали массу в 5,64 раза, *L. chinense* – в 3,4 раза, *L. ruthenicum* – в 2,6 раза. Высокая гидратационная способность *L. barbarum* обусловлена тонкой и микропористой семенной оболочкой, обеспечивающей быстрое поступление влаги и ускоренное начало прорастания. Плотная оболочка *L. ruthenicum* замедляет водопоглощение, но обеспечивает защиту зародыша от абиотических стрессов. *L. chinense* демонстрирует промежуточные показатели, отражающие адаптацию к умеренным условиям.

Микроскопический анализ подтвердил эти различия: у *L. barbarum* наблюдается значительное увеличение объёма и разрыхление тканей после набухания, у *L. ruthenicum* минимальная деформация оболочки, у *L. chinense* умеренные изменения. Эти особенности коррелируют с экологическими особенностями видов.

Проращивание семян. Всхожесть на 21-й день была максимальной у *L. ruthenicum* (86 %), что указывает на высокую адаптацию к стабильным условиям увлажнения. У *L. chinense* и *L. barbarum* показатели составили 68 % и 52 % соответственно. Морфологические наблюдения стадий прорастания показали, что у *L. ruthenicum* развитие проростков было более синхронным, тогда как у двух других видов отмечалась асинхронность, вероятно, связанная с неоднородностью зрелости семян.

Вывод. Различия в набухании и всхожести семян *Lycium* определяются комплексом морфологических и биохимических факторов и отражают адаптивные стратегии видов в природе. Для успешной интродукции и культивирования требуется видоспецифическая предпосевная подготовка семян.

#### Использованные источники

1. UNCCD (1994) United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. A/AC.241/27, Paris.
2. Zhang, Y. Between- and within-population variations in thermal reaction norms of the coccolithophore *Emiliana huxleyi* / Y. Zhang [et al.] // Limnology and Oceanography. – 2014. – Vol. 59 (5). – P. 1570–1580.
3. A new appraisal of lithospheric structures of the Cordillera-Craton boundary region in western Canada / Y. Chen, Y. J. Gu, S.-H. Hung // Tectonics. – 2018. – Vol. 37. – P. 3207–3228. doi: doi.org/10.1029/2018TC004956.
4. Государственная фармакопея Российской Федерации. – XII издания, часть 1. – М. : Научный центр экспертизы средств медицинского применения, 2008. – 704 с.
5. Good Agricultural and Collection Practice for Herbal Raw Materials / World Health Organization. — Geneva: WHO, 2006. — 84 p.

## ВЛИЯНИЕ СОЛЕВОГО СТРЕССА НА СИНТЕЗ АНТИОКСИДАНТОВ В КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУРАХ ПОРТУЛАКА ОГОРОДНОГО (*PORTULACA OLERACEA* L.)

Макшеева В. А., Скрышник Л. Н.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,  
г. Калининград, Российская Федерация  
e-mail: vamaksheeva@gmail.com

*В работе исследовано влияние засоления на каллусные культуры Portulaca oleraceae L. При культивировании in vitro. Проведен анализ морфометрических параметров и содержания биологически активных соединений методом спектрофотометрии и оценка антиоксидантной активности (DPPH, ABTS, FRAP). Установлено, что эффективность накопления биомассы и вторичных метаболитов зависит от комбинации регуляторов роста и концентрации NaCl. В каллусных культурах, культивируемых на питательной среде Мурасиге-Скуга с добавлением 2,25 мг/л БАП и 2 мг/л ИМК, отмечена максимальная антиоксидантная активность и содержание фенольных соединений в отсутствие соли.*

Одно из новых направлений биотехнологии – это метод микроклонального размножения растений. В основе метода лежит возможность полного морфогенеза растения из единственной клетки. Культивирование *in vitro* может быть применено для понимания процессов, которые происходят в растениях, так как развитие культуры происходит в контролируемых условиях. Метод микроклонального размножения позволяет изучить морфологические и биохимические компоненты, вследствие чего дает возможность определить направление для получения максимального количества биологически активных соединений [2]. Микроклональное размножение можно производить разными способами. Одним из таких способов является получение каллусных культур, отличающихся гетерогенной структурой, которая состоит из групп неорганизованных и способных к пролиферации дедифференцированных клеток, с возможностью реализации обратного морфогенеза [8].

*Portulaca oleracea* L. (портулак огородный) – травянистое растение с однолетним циклом жизни, входит в семейство *Portulacaceae* L. (Портулаковые). Распространен на Ближнем Востоке, в Южной Азии, Европе и Австралии [4]. *P. oleracea* является галофитом, поэтому может переносить значительные колебания в концентрации соли по сравнению растениями гликофитами [5]. Портулак накапливает значительное количество первичных и вторичных метаболитов, которые обеспечивают обезболивающие, противовоспалительные, антиоксидантные, противоопухолевые, ранозаживляющие и многие другие биологические свойства [6].

Целью данной работы являлось исследование влияния засоления на морфометрические параметры и содержание биологически активных соединений в каллусных культурах портулака огородного (*Portulaca oleracea* L.) сорта Парадокс при культивировании *in vitro*.

В данной работе использованы стандартные методы стерилизации растительного материала, приготовления питательных сред, получения каллусных культур; оценка биосинтеза вторичных метаболитов проводилась спектрофотометрическим методом; оценка антиоксидантной активности проводилась с помощью методов DPPH, ABTS и FRAP. Для проведения эксперимента по оценке влияния засоления (NaCl) на рост и содержание биологически активных веществ в *P. oleracea* использовались каллусы массой 0,3 г. Каллусная ткань *P. oleracea* была помещена на среду Мурасиге-Скуга с регуляторами роста 2,25 мг/л БАП (6-бензиламинопурина) и 2 мг/л ИМК (индолил-3-масляной кислоты), содержащую 30 г/л сахарозы и 7 г/л агара и pH 5,8. NaCl был добавлен в среду при конечных концентрациях 0, 25, 75, 50, 100, 200, 300, 400 и 500 мМ. Культивирование проводилось по 5 каллусов на чашку Петри и в 4 повторностях на концентрацию NaCl. Культуры поддерживались в термостате при 25°C в условии непрерывной темноты в течение 21 дня.

Собранный растительный материал лиофилизировали и проводили биохимические анализы [1, 7]. Проверка статистической значимости результатов осуществлялась с помощью программы GraphPad Prism 10.

Результаты исследования показали, что среда Мурасиге-Скуга с добавлением 2,25 мг/л БАП и 2 мг/л ИМК, содержащая хлорид натрия в концентрациях 0, 25, 50, 75, 100 и 200 мМ, индуцировала рост биомассы каллусной ткани *P. oleracea* (Рисунок 1А). Однако, при добавлении 300, 400 и 500 мМ NaCl в питательную среду каллус обладал плотной структурой, с выраженными областями темно-коричневого цвета (Рисунок 1Б).

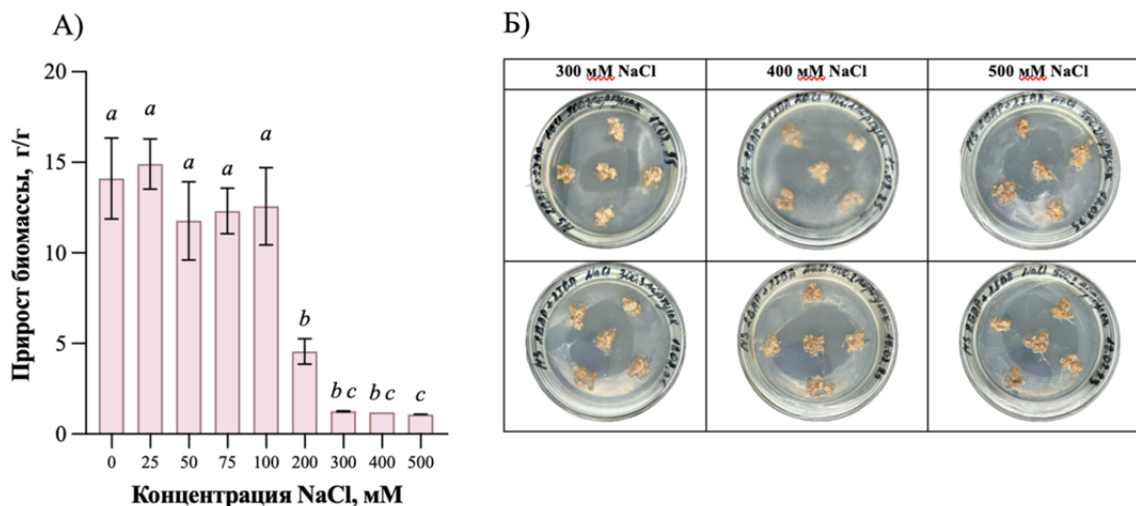


Рисунок 1 – А) отношение биомассы каллуса *P. oleracea* в конце эксперимента к исходной в зависимости от концентрации NaCl в питательной среде с добавлением 2,25 мг/л БАП и 2 мг/л ИМК; Б) внешний вид каллуса, культивируемого на питательной среде с добавлением 300-500 мМ NaCl

При культивировании на среде, содержащей 2,25 мг/л БАП и 2 мг/л ИМК, наибольшая сырая биомасса наблюдалась при концентрации 0 и 25 мМ хлорида натрия ( $23,01 \pm 3,24$  и  $22,94 \pm 2,21$  г, соответственно), затем происходило постепенное уменьшение биомассы, а при 200 мМ наблюдалось ее резкое снижение до  $7,03 \pm 1,23$  г. Аналогичная тенденция была характерна и для значений сухой биомассы каллуса. Так, максимальная биомасса ( $0,82 \pm 0,16$  г) каллусной культуры, культивируемой на среде с добавлением 2,25 мг/л БАП и 2 мг/л ИМК, наблюдалась при концентрации 25 мМ NaCl.

Общее содержание фенольных соединений не изменялось по мере увеличения солености от 25 до 200 мМ NaCl. Однако, контрольная группа показала статистически значимые различия и отличалась наибольшим содержанием фенольных метаболитов ( $11,63 \pm 1,5$  мг-экв. ГК/г СВ). Также выявлены статистически значимые различия в суммарном содержании флавоноидов между группами 0–25 и 50–200 мМ NaCl, с более высоким содержанием в первой группе. Максимальное содержание гидроксикоричных кислот отмечалось в контрольной группе ( $8,23 \pm 1,38$  мг-экв. ХК/г СВ).

Оценка содержания бетацианов и бетаксантинов в каллусных тканях *P. oleracea*, культивируемых на среде с разной концентрацией хлорида натрия, показала следующие результаты: контрольные группы проявляли наибольший ( $0,09 \pm 0,01$  мг-экв. бетанина/г СВ и  $0,82 \pm 0,13$  мг-экв. вульгаксантина I/г СВ) биосинтез беталаиновых пигментов, по сравнению с экспериментальными группами.

В результате определения антиоксидантной активности методом DPPH выявлены статистически значимые различия между контрольной группой, с максимумом -  $3,84 \pm 0,37$  мг-экв. АК/г СВ, и группами 50–200 мМ NaCl. По методу FRAP максимальное значение антиоксидантной активности каллуса составило  $7,38 \pm 1,09$  мг-экв. АК/г СВ в контрольной группе (без NaCl). Измерение методом ABTS так же достигало наибольшего значения при отсутствии соли в питательной среде ( $8,9 \pm 0,83$  мг-экв. АК/г СВ).

Корреляционный анализ показал наличие высокой положительной связи между антиоксидантной активностью и большинством биологически активных соединений. Исключение составляет флавоноиды, которые демонстрируют умеренную корреляцию с другими компонентами. Результаты подтверждают комплексное взаимодействие вторичных метаболитов и их роль в антиоксидантной активности культуры.

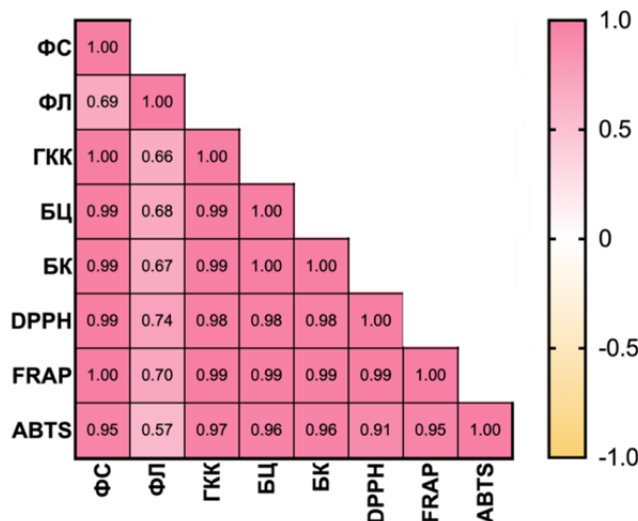


Рисунок 2 – Корреляционная матрица: ФС – фенольные соединения; ФЛ – флавоноиды; ГКК – гидроксикоричные кислоты; БЦ – бетацианы; БК – бетаксантины; DPPH, FRAP, ABTS – антиоксидантная активность

Результаты нашего исследования по воздействию солевого стресса на каллусные культуры *P. oleracea* подтверждают данные других авторов [2, 6], однако отмечены значительные вариации морфометрических показателей даже в пределах подвидов одного вида, что подчеркивает необходимость дальнейшего изучения механизмов адаптации к засолению. Нами было установлено, что накопление биологически активных соединений и фенольной природы, и беталаинов в каллусной культуре *P. oleracea* сильно зависело от наличия хлорида натрия в питательной среде.

Полученные в настоящем исследовании результаты могут явиться основой для дальнейшей разработки протоколов культивирования *in vitro* *P. oleracea*, направленных на повышение выхода биологически активных соединений с целью их применения в фармацевтической промышленности.

#### Список литературы

1. Comparison of two subspecies of a halophytic multi-use plant *Mertensia maritima* *in vitro* and *ex vitro*: propagation, salinity tolerance and mineral nutrition / Purmale L. [et al.] // Environmental and Experimental Biology. – 2024. – Vol. 22. – №. 1. – P. 29–40.
2. Effect of Salinity Stress on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Halophytes *Spergularia marina* (L.) Griseb. and *Glaux maritima* L. Cultured *In Vitro* / A. Pungin, L. Lartseva, V. Loskutnikova [et al.] // Plants. – 2023. – Vol. 12. – №. 9. – P. 1905.
3. Microclonal propagation of some bulbous and cormous plants based on regeneration processes in morphological different explants / O. A. Churikoca, R. P. Barykina // Wulfenia – 2015. – Vol. 22. – P. 21–32.
4. *Portulaca oleracea* L. a review / M. H. Masoodi [et al.] // Journal of Pharmacy Research. – 2011. – Vol. 4. – №. 9. – P. 3044–3048.
5. *Portulaca oleracea* L.: a mini review on phytochemistry and pharmacology / S. Syed, N. Fatima, G. Kabeer // International journal of Biology and Biotechnology. – 2016. – Vol. 13. – №. 4. – P. 637–641.
6. Responses to salt stress in *Portulaca*: Insight into its tolerance mechanisms / O. Borsai [et al.] // Plants. – 2020. – Vol. 9. – №. 12. – P. 1660.
7. Бетацианины корнеплодов красной столовой свеклы / И. И. Саенко [и др.] // Региональные геосистемы. – 2012. – Т. 18. – №. 3 (122). – С. 194–200.
8. Основы биотехнологии растений: учебное пособие / Под ред. Р.Г. Фархугдинова – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – 244 с.

## МОНИТОРИНГ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОФОНДА КОЛЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ TRITICUM L.

Матыс И. С., Маркевич И. М., Жачкина Н. Н., Алекперова Е. М., Савенков П. Ю.

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино, Республика Беларусь  
e-mail: belgenbank@izis.by

*В статье представлены результаты изучения и сохранения коллекции генетических ресурсов растений пшеницы (TRITICUM L.) в Национальном банке семян генетических ресурсов хозяйственно полезных растений РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Созданная в период 2000–2025 гг. коллекция генетических ресурсов растений пшеницы, является важнейшим резервом ценных источников исходного материала для селекции этой культуры. В итоге многолетнего полевого и лабораторного изучения коллекционного материала выделены источники ценных признаков и свойств растений, сформированы целевые признаковые коллекции, которые активно используются в селекции.*

Пшеница с самых древних времен и до настоящего времени является основной продовольственной культурой в мире. Ее культивируют более чем в 80 странах мира. Культура пшеницы известна около 10 тыс. лет, в странах Европы ее возделывают свыше 5 тыс. лет. Из многочисленных видов пшеницы в мировом земледелии культивируется, главным образом, пшеница мягкая и твердая. Более половины населения земли используют в пищу ее зерно. Пшеничный хлеб отличается высокими вкусовыми качествами и по питательности и переваримости превосходит хлеб из муки всех других зерновых культур. Спектр применения пшеницы разнообразен, из пшеничной муки получают хлебобулочные, макаронные и кондитерские изделия; из крупы – диетические продукты, детское питание, кулинарные полуфабрикаты; из крахмала – глюкозу, колбасные и кондитерские изделия. Зерно пшеницы можно перерабатывать на спирт, а отходы мукомольного производства для приготовления комбикормов [1]. В Республике Беларусь в последние годы пшеница занимает все более значительное место в обеспечении населения продовольственным зерном, в 2024 году площадь посевов составила 685,0 тыс. га.

В настоящее время в мире сохраняется более 850 тыс. образцов пшеницы, в 229 коллекциях ex situ (<http://www.fao.org/agriculture/seed/sow2/en>). Наиболее значимыми по объему и генетическому разнообразию национальными коллекциями пшеницы обладают Россия (ВИР), США (National Small Grain Collection), Китай (Institute of Crop Germplasm Resources in The Chinese Academy of Agricultural Sciences), Индия (National Bureau of Plant Genetic Resources), Италия (Istituto di Genetica Vegetale), Япония (National Institute of Agrobiological Sciences). В Европе генетические ресурсы пшеницы сохраняются в 650 учреждениях, расположенных в 43 европейских странах (<http://www.fao.org/>). Основными их пользователями являются селекционеры и ученые. Большое значение для селекции сельскохозяйственных культур имеет тщательно подобранный и комплексно изученный исходный материал. В Республике Беларусь создан Национальный банк семян генетических ресурсов хозяйственно полезных растений РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (генный банк), где проводится работа по сбору, сохранению генетических ресурсов растений и изучению их качественных характеристик для использования генетического разнообразия коллекций при создании новых высокопродуктивных сортов и гибридов растений. В настоящее время генный банк сохраняет 55,2 тыс. коллекционных образцов, включает в свой состав 393 рода, 753 вида растений. В результате многолетней работы собрана самая многочисленная по своему составу семенная коллекция пшеницы (Triticum L.), которая насчитывает 4889 образцов различного географического происхождения. Генетическое разнообразие рода Triticum L. в коллекции представлено местными и селекционными сортами, генетическими и селекционными линиями, гибридами и мутантами, образцами дикой пшеницы, отличается разнообразием, как по географическому происхождению, так и по ботаническому составу. В ней сосредоточено 76,3% – мягкой

пшеницы, 22,7% – твердой пшеницы, и 1% приходится на долю диких родичей. В соответствии с таксономической системой, разработанной Дорофеевым, в ней представлено 22 вида, различающихся по степени окультуривания, уровню полиплоидии и геномному составу, некоторые из видов имеют большое число ботанических разновидностей [2]. В состав коллекции также входят восемь разновидностей *Aegilops* L., коллекция включает в себя образцы из 73 стран мира. Преобладающее большинство образцов пшеницы по происхождению из стран Европы, как региона наиболее схожего с Республикой Беларусь по климатическим ресурсам, Европейский генетический материал наиболее часто используется в селекционном процессе при создании высокопродуктивных, устойчивых к болезням и полеганию отечественных сортов. Особое внимание уделяется сохранению отечественного генофонда. Всего в коллекции 21% образцов Белорусского происхождения. Ежегодно коллекция пополняется новым образцами из генных банков мира, отечественных и зарубежных научно-исследовательских учреждений. В 2024 году национальная коллекция пшеницы пополнились коллекционными образцами из Российского центра ГРП (ВИР), Верхневолжского ФАНЦ, Воронежского ФГБНУ и Омского АНЦ, Чешского генбанка (Crop Research Institute), Словацкого генного банка (National Agricultural and Food Centre Research Institute of Plant Production Piešťany), Эстонского генбанка (Jogeva PBI).

Семенная коллекция генетических ресурсов пшеницы яровой (*Triticum* L.) насчитывает 2534 образца, включает 18 видов (*T. aestivum* L., *T. durum* Desf., *T. turgidum* L., *T. spelta* L., *T. sphaerococcum* Percival, *T. compactum* Host, *T. aethiopicum* Jakubz., *T. carthlicum* Nevski, *T. ispahanicum* Heslot, *T. araraticum* Jakubz., *T. dicoccoides* (Körn. ex Asch. & Graebn.) Schweinf., *T. dicoccum* Schrank, *T. monococcum* L., *T. polonicum* L., *T. turanicum* Jakubz., *T. timopheevii* Zhuk., *T. militinae* Zhuk. et Migusch., *T. Sinskajae*), различающихся по степени окультуривания, уровню плоидности и геномному составу, некоторые из видов имеют большое число ботанических разновидностей. Коллекция включает в себя дикие виды, разновидности, формы и культивируемые сорта. В коллекционном питомнике пшеницы яровой за период 2021-2024 гг. изучено 664 образца, представленных разными агроэкотипами и отличающимися по морфологии своего развития. Выделены источники хозяйственно ценных признаков растений и рекомендованы для использования в селекции: скороспелость – 99ID594 (USA), Ning 8343, Landrace No. 3374, Landrace No. 3342 (CHN); короткостебельность – Admire (USA), Ning 8343 (CHN); высокая урожайность – WPB Troj (POL), Аквитан (DEU), WPB Milo (POL); колос с высокой озерненностью и массой зерна в колосе – KWS Dorium (DEU), WPB Milo (POL), WPB Troj (POL); высокая масса 1000 зерен – Ning 8343 (CHN), Аквитан (DEU), Quiang-feng (CHN), WPB Troj (POL), KWS Dorium (DEU); высокий продуктивный стеблестой (на м<sup>2</sup>) – Аквитан (DEU), Chang-chung (CHN); устойчивость к мучнистой росе – KWS Dorium (DEU); умеренная устойчивость к листовой ржавчине – Juchi F2000 (MEX) и 99ID520 (USA); по комплексу хозяйственно ценных признаков – Ning 8343 (CHN), KWS Dorium (DEU), WPB Milo (POL), WPB Troj (POL), Аквитан (DEU) [3]. В Государственный реестр сортов Республики Беларусь, допущенных к использованию в 2024 году, включены следующие сорта пшеницы мягкой яровой: Дарья, Тома, Сабина, Василиса, Ласка, Любава, Сударыня, Славянка, Монета, Награда, Мадонна, Ладья, Эврика, Восточка 17, Вена, Знамя и новый районированный сорт Зорка.

Семенная коллекция генетических ресурсов пшеницы озимой (*Triticum* L.) в генном банке насчитывает 2198 образцов и представлена 20 видами (*T. aestivum* L., *T. durum* Desf., *T. turgidum* L., *T. spelta* L., *T. sphaerococcum* Percival, *T. macha* Dekapr. & Menabde, *T. compactum* Host, *T. araraticum* Jakubz., *T. boeoticum* Boiss., *T. dicoccoides* (Körn. ex Asch. & Graebn.) Schweinf., *T. dicoccum* Schrank, *T. urartu* Thumanjan ex Gandilyan, *T. karamyshevii* Nevski, *T. vavilovii* Zhuk. et Migusch., *T. militinae* Zhuk. et Migusch., *T. miguschovae* Zhir., *T. zhukovskyi*, *T. agropyrotriticum*, *T. palmovae*, *Aegilops* ssp.), 106 разновидностями из 55 стран мира. За период 2021-2024 гг. было изучено 331 образец озимой пшеницы и выделены источники селекционно-ценных признаков, имеющие практический интерес для селекционной работы с

мягкой озимой пшеницей в условиях Республики Беларусь: с высокой перезимовкой – Нуреке (Республика Казахстан), Мироновская 808, Харківська 107, Любава одеська (Украина), STORCH, AXEL (Франция), Frederick (Канада), Тонация (Польша), Deloris (США), Ljutescens 3161/29, Odesskaja 7685 (Славения), Лютесценс 5390 (Россия), BU 22 (Чехия); с высокой устойчивостью к полеганию: Intrada (США), Ljutescens 3161/29, Odesskaja krasnokolosaja, Odesskaja 7685 (Славения), Fundulea 9 (Румыния), Лютесценс 5390 (Россия), Любава одеська (Украина), BU 22 (Чехия); с устойчивостью к мучнистой росе (7-9 баллов) – Комфорт, Славица, Ljutescens 3161/29 (Славения), Лютесценс 5390 (Россия); по урожайности зерна – Korveta (Польша), Фаворитка, Фарандоль; с высокой массой зерна с главного колоса (более 2 г.) – Стекловидная 24 (Казахстан), Олимпия, Фарандоль, Korveta (Польша), Ритмо, Арогее (США), Clement (Нидерланды); с высокой массой 1000 зерен (более 47 г) – AXEL (Франция), Kador (Польша), MV-Palma (Венгрия), Донская безостая (Россия), Нуреке, Стекловидная 24 (Казахстан), Kokheliya, Славица, Kalyansona SE-2 (Индия). Коллекционные образцы озимой пшеницы различались по высоте, уровню скороспелости, морозостойкости, хлебопекарным качествам и устойчивости к болезням и используются в селекционном процессе [4]. В Государственный реестр сортов включены следующие сорта пшеницы озимой селекции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию» и допущенных к использованию в 2024 году: Сюита, Канвеер, Элегия, Ода, Капэла, Августина, Баллада, Мроя, Набат, Гирлянда, Этюд, Амелия, Вилора, Асима, Варя и 4 новых сорта озимой пшеницы (Грея, Лея, Стася, Илви), потенциал продуктивности которых составляет более 105 ц/га.

В результате проведенного анализа изученных коллекционных образцов, сформировано 15 целевых признаковых коллекций и переданы для использования в селекционном процессе, из них: 5 яровой пшеницы *Triticum aestivum* L. по устойчивости к фузариозу колоса (*Fusarium culmorum* Sacc.), по признаку красностебельности, по окраске колоса, по опушению наружной поверхности (в средней части колоса), по выполненности стебля (между основанием колоса и узлом ниже); 10 озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. по устойчивости к полеганию (2 шт.), зимостойкости, высокой перезимовки, высоким содержанием белка, высокой экологической адаптивностью и стабильностью, высокой озерненностью главного колоса, высокой урожайностью зерна, высокой продуктивностью. Проведена генетическая паспортизация 50 коллекционных образцов пшеницы по хозяйственно-ценным локусам геномной ДНК.

Генетические ресурсы пшеницы, сохраняемые в коллекции генного банка, являются источником исходного материала ценных признаков, что определяет возможность его использования в селекции для создания новых высокопродуктивных сортов озимой и яровой пшеницы. С использованием генетических ресурсов коллекции пшеницы с 2000 по 2024 гг. в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» создано и включено в Государственный реестр сортов Республики Беларусь 63 сорта пшеницы.

#### Список литература

1. Генетические ресурсы растений в Беларуси: мобилизация, сохранение, изучение и использование / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; редкол.: Ф. И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. — Минск: Четыре четверти, 2019. — 452с
2. Изучение коллекции пшеницы / Методические указания; Под ред. акад. ВАСХНИЛ Дорофеева В. Ф.; Сост. Градчанинова О. Д., Филатенко А. А., Руденко М. И. — Л.: ВИР, 1985. — 28 с.
3. Руководство по формированию, сохранению и изучению коллекций генетических ресурсов растений в генетическом банке семян: методические рекомендации / Ф. И. Привалов [и др.] / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». — Минск, 2018 — 51с.
4. Унифицированный классификатор пшеницы *Triticum* L./ Ф. И. Привалов, С. И. Гриб, И. С. Матыс [и др.] / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». — Минск, 2012 - 57с.

**ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИСАХАРИД-СЕРЕБРО НА  
БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ, ИНФИЦИРОВАННЫХ  
ВОЗБУДИТЕЛЕМ *BIPOLARIS SOROKINIANA***

Минчук Е. В., Величко Н. И.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: minchukyauheniya@gmail.com

Проведено изучение влияния наноконпозитов на основе полисахаридов (пектин, хитозан) и серебра на содержание фотосинтетических пигментов и перекиси водорода в растениях ячменя при инфицировании *Bipolaris sorokiniana*. Показано усиление ответной реакции растений на инфицирование и снижение уровня окислительного стресса.

Злаковые культуры представляют стратегически важную группу сельскохозяйственных растений, которые формируют основу производства пищевых продуктов и кормовых ресурсов. При этом они уязвимы к обширному кругу заболеваний грибной, бактериальной и вирусной природы. Фитопатогены зерновых культур вызывают значительное снижение продуктивности и качества зерновой продукции. К числу экономически значимых заболеваний злаков относится инфекция, вызываемая *Bipolaris sorokiniana*. Как следствие, перспективным направлением фитозащиты растений от грибных инфекций является применение наночастиц серебра, инкапсулированных в полисахаридную матрицу, направленных на борьбу с данными заболеваниями, а также представляют значительный научный и практический интерес для экологизации сельскохозяйственных технологий.

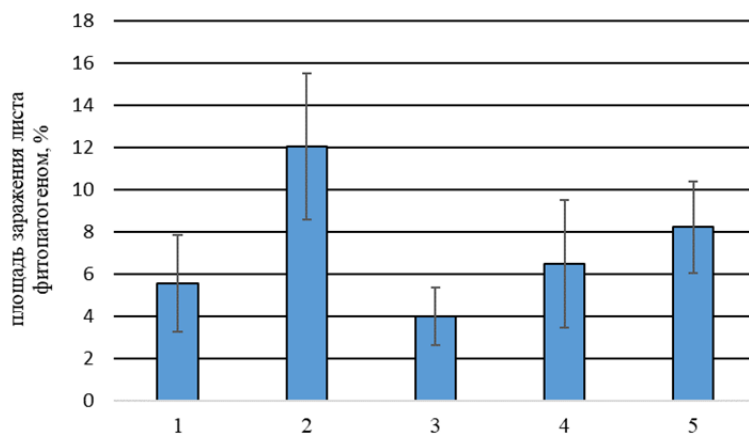
Целью исследования являлась оценка влияния наноконпозитов (НК) полисахарид-серебро на биохимические показатели растений ячменя, инфицированных возбудителем *Bipolaris sorokiniana*, вызывающего темно-бурую пятнистость листьев. Патогенный гриб получен из коллекции лаборатории иммунитета РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию».

Объектом исследования являлся ячмень сорта Добры. Предварительно семена ячменя подвергали обработке наноконпозитными препаратами разных концентраций путем замачивания в течение 3 часов с последующей сушкой до исходной влажности. Семена контрольного варианта подвергали замачиванию в дистиллированной воде. Схема эксперимента предусматривала использование следующих опытных вариантов наноконпозитных образцов:

- 1 – Контроль с заражением
- 2 – НК Amid Ag ( $C_{\text{пект}}=7,5\text{мг/мл}$ ;  $C_{\text{Ag}}=0,3\text{мг/мл}$ ) на основе низкометоксилированного амидированного пектина, с соотношением пектин-серебро 25:1, разведенный в 25 раз;
- 3 – НК Citrus Ag ( $C_{\text{пект}}=7,5\text{мг/мл}$ ;  $C_{\text{Ag}}=0,3\text{мг/мл}$ ) на основе высокоэтерифицированного пектина, с соотношением пектин-серебро 25:1, разведенный в 50 раз;
- 4 – НК Classic Ag ( $C_{\text{пект}}=7,5\text{мг/мл}$ ;  $C_{\text{Ag}}=0,3\text{мг/мл}$ ) на основе низкометоксилированного пектина, с соотношением пектин-серебро 25:1, разведенный в 50 раз.
- 5 – НК Хитозан Ag ( $C_{\text{хит}}=31\text{мг/мл}$ ;  $C_{\text{Ag}}=3,1\text{мг/мл}$ ) с соотношением хитозан-серебро 10:1, разведенный в 10 раз.

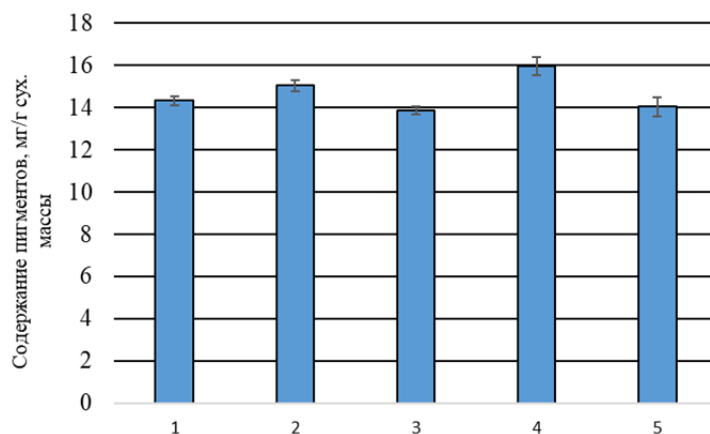
Для проведения эксперимента растения ячменя сорта Добры выращивали в лабораторных условиях в почвогрунте Универсальный (ОАО «Зеленоборское») при режиме освещения: 14 ч света / 10 ч темноты до 8-дневного возраста, после чего выполняли искусственное заражение растений грибным патогеном *Bipolaris sorokiniana*. Инокулирование проводили методом опрыскивания (концентрация 5000 конидий  $\text{мл}^{-1}$ ). На 15 сутки измерена площадь распространения заражения листа, проанализировано содержание фотосинтетических пигментов по методу [1] и содержание перекиси водорода по методу [2].

В лабораторном опыте установлено, что из изученных наносоединений НК Citrus Ag на основе высокоэтерифицированного пектина с соотношением пектин-серебро 25:1, разведенный в 50 раз незначительно снижает площадь поражения листьев ячменя в фазе 2 настоящих листьев фитопатогеном *Bipolaris sorokiniana* по сравнению с зараженным контролем. В то время как НК Amid Ag с соотношением пектин-серебро 25:1, разведенный в 25 раз практически в 2 раза увеличивал площадь заражения (рисунок 1).



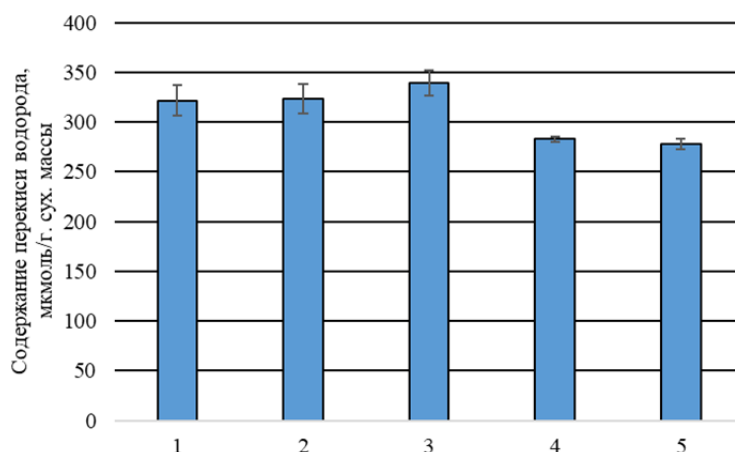
**Рисунок 1 – Площадь заражения листьев ячменя сорта Добры возбудителем темно-бурой пятнистости *Bipolaris sorokiniana* на 15-е сутки патогенеза при обработке нанокомпозитами: 1 – контроль с заражением, 2 – НК Amid 25/в 25 р, 3 – Citrus 25/в 50 р, 4 – НК Classic 25/в 50 р, 5 – НК Хитозан 5/в 10 р**

Суммарное содержание хлорофиллов достоверно увеличивалось относительно инфицированного контроля в варианте 4 на 11% (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя сорта Добры при обработке нанокомпозитами: 1 – контроль с заражением, 2 – НК Amid 25/в 25 р, 3 – Citrus 25/в 50 р, 4 – НК Classic 25/в 50 р, 5 – НК Хитозан 5/в 10 р**

Перекись водорода играет важную роль в ответе на биотические стрессы. Ее накопление – типичный ответ растения на патогенную атаку. При обработке НК Citrus 25, с разведением в 50 раз (вариант 3) наблюдается незначительный рост содержания  $H_2O_2$ , что может указывать на развитие защитного ответа против *Bipolaris sorokiniana*. При обработке растений ячменя НК Classic 25 с разведением в 50 раз (вариант 4) и НК Хитозан 5 с разведением в 10 раз (вариант 5) отмечено достоверное снижение содержания перекиси водорода относительно инфицированного контроля (рисунок 3).



**Рисунок 3– Содержание перекиси водорода в листьях ячменя сорта Добрыпри обработке нанокомпозитами (1 –контроль с заражением, 2 – НК Amid 25/в 25 р, 3 – Citrus 25/в 50 р, 4 – НК Classic 25/в 50 р, 5 – НК Хитозан 5/в 10 р**

Таким образом в варианте с применением нанокомпозита Citrus 25 с разведением в 50 раз наблюдается снижение площади некротических повреждений, вызванных возбудителем темно-бурой пятнистости, на фоне накопления пероксида водорода.

Содержание фотосинтетических пигментов в инфицированных листьях ячменя при обработке нанокомпозитами не оказало существенных различий, лишь в варианте образца Classic 25 с разведением в 50 раз (вариант 4) отмечено увеличение суммы хлорофиллов а и в. Инфицирование приводило к снижению содержания перекиси водорода в вариантах 4 (НК Classic 25 разведение в 50 раз) и 5 (НК Хитозан 5 разведение в 10 раз) относительно инфицированного контроля.

Полученные данные демонстрируют, что НК Citrus Ag на основе высокоэтерифицированного пектина, с соотношением пектин-серебро 25:1 (вариант 3) при установлении эффективной концентрации потенциально может являться средством повышения устойчивости растений к *Bipolaris sorokiniana*.

*Работа поддержана грантом БРФФИ Б24МП-010.*

#### **Список литературы:**

1. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука. – 1971. – Т. 19. – №. 1. – С. 154.
2. Extracellular H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced by Oligagalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated roIB gene expression in tobacco leaf explants / D. Bellincampi [et al.] // Plant Physiology. – 2000. – Vol. 122, N 4. – P. 1379–1386.

## РАЗРАБОТКА ВЕКТОРА ДЛЯ ГЕТЕРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПРЕССИИ ИОННЫХ КАНАЛОВ СЕМЕЙСТВА CNGC В КЛЕТКАХ НЕК293 И ЕГО КЛОНИРОВАНИЕ В *ESCHERICHIA COLI*

Муравицкая А. О.<sup>1</sup>, Чернявская Е. А.<sup>1</sup>, Гриусевич П. В.<sup>1</sup>, Демидчик В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: muravitskayaao@bsu.by

<sup>2</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук  
Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

В работе проведено конструирование вектора для гетерологической экспрессии в культуре клеток НЕК293 ионных каналов семейства CNGC на примере *AtCNGC14*, а также разработаны подходы клонирования данного вектора в клетках *Escherichia coli* DH5α и XL1-Blue с последующим его выделением. Было показано, что высокой эффективностью трансформации характеризуется штамм *Escherichia coli* DH5α (150,1±3,39 тыс. трансформантов/мкг ДНК), в то же время наиболее высокий выход целевой плазмиды продемонстрировал штамм *Escherichia coli* XL1-Blue (21,1±1,23 мкг/мл).

Одной из актуальных проблем современной физиологии растений является установление функциональных особенностей и механизмов регуляции ионных каналов [1-3]. Для исследования ионных каналов применяются различные методы: электрофизиологические (биофизические), молекулярно-генетические и биохимические. В последнее время все чаще используются подходы, включающие гетерологическую экспрессию ионных каналов, позволяющие исследовать характеристики данных ион-транспортных систем в модельной и хорошо воспроизводимой системе [3]. Семейство каналов, активируемых циклическими нуклеотидами (Cyclic Nucleotide Gated Channels (CNGC)), является одним из крупнейших среди ионных каналов растений, однако до сих пор особенности функционирования данных транспортных белков исследованы фрагментарно [1]. В настоящей работе в качестве объекта исследования был избран ионный канал *Arabidopsis thaliana* CNGC14, для которого ранее была предложена функция в качестве Ca<sup>2+</sup>-опосредуемого триггера сигналов фитогормонов (ауксинов) и регуляции роста корней [2].

Первым этапом работы являлось конструирование вектора для гетерологической экспрессии данного ионного канала в культуре клеток почек эмбриона человека (НЕК293). За основу был взят плазмидный экспрессионный вектор pCDNA3.1(+) размером 5428 п.о., содержащий сайты начала репликации для клонирования в клетках *Escherichia coli* и в клетках млекопитающих, сильный промотор цитомегаловируса (CMV) и полилинкер в прямой ориентации. В качестве селективных маркеров выступали гены антибиотикорезистентности – *AmpR* (для отбора трансформированных клеток *Escherichia coli* на среде с ампициллином) и *NeoR/KanR* (для отбора трансформантов среди клеток млекопитающих на среде с G418). В роли целевого гена выступала последовательность кДНК ионного канала CNGC14 *Arabidopsis thaliana* (GenBank NM\_001335940), слитая с последовательностью кДНК усиленного зеленого флуоресцентного белка (Enhanced Green Fluorescent Protein (EGFP)) через линкер, кодирующий 6 аминокислотных остатков глицина (общий размер вставки – 2961 п.о.). Введение флуоресцентного маркера EGFP было необходимо для визуализации экспрессии ионного канала и определения его локализации в клетке. Нуклеотидная последовательность CNGC растений предварительно была оптимизирована для экспрессии в животных клетках НЕК293 с помощью сервиса VectorBuilder. Вставка целевой последовательности в вектор осуществлялась по сайтам рестрикции для ферментов *NheI* и *NotI*, расположенным в полилинкере.

Полученная векторная конструкция далее была клонирована в клетках *Escherichia coli* штаммов DH5α и XL1-Blue. Трансформация бактериальных клеток вектором проводилась с

помощью кальций-хлоридного метода: к 100 мкл предварительно подготовленных компетентных клеток вносилось 10 нг плазмидной ДНК. Для оценки эффективности трансформации проводился подсчет изолированных колоний на чашках Петри через 24 часа после культивирования бактерий на селективной среде, содержащей ампициллин (100 мкг/мл). Показатель эффективности определялся как число трансформантов на чашке Петри, нормированное на количество вносимой плазмидной ДНК. Полученные результаты продемонстрировали, что значения эффективности трансформации для штамма DH5 $\alpha$  (150,1 $\pm$ 3,39 тыс. трансформантов/мкг ДНК) значительно превышало аналогичные показатели штамма XL1-Blue (85,39 $\pm$ 2,95 тыс. трансформантов/мкг ДНК), причем различия между штаммами подтверждались статистически (*Mann-Whitney U-test*:  $p \leq 0,01$ ). Дальнейшая наработка плазмиды проводилась путем культивирования трансформантов в жидкой среде LB, содержащей ампициллин (12-16 ч, 37°C). Для выделения плазмидной ДНК использовался коммерческий набор «illustra plasmidPrep Mini Spin Kit» (Cytiva, Великобритания). Для качественной оценки выделенной плазмидной ДНК проводился электрофорез в 1%-ном агарозном геле, в который предварительно был внесен интеркалирующий краситель GelRed (10000x; Biotium, Australia). Оценка количества и чистоты выделенной ДНК проводилась при помощи спектрофотометра для микрообъемов (DeNovix, США). Результаты анализа продемонстрировали, что выделенная из обоих штаммов плазмидная ДНК характеризовалась высокой степенью чистоты и подходила для дальнейших молекулярно-генетических исследований. Также было показано, что несмотря на более низкую эффективность трансформации штамма XL1-Blue, количество выделенной плазмидной ДНК у данного штамма существенно выше по сравнению со штаммом DH5 $\alpha$ , что подтверждается статистически (*Mann-Whitney U-test*:  $p \leq 0,05$ ). Так, концентрация плазмидной ДНК, выделенной из штамма XL1-Blue, составила 21,1 $\pm$ 1,23 мкг/мл, в то время как из штамма DH5 $\alpha$  – 13,3 $\pm$ 2,20 мкг/мл. Соответственно, *Escherichia coli* штамма XL1-Blue демонстрирует более высокий выход целевой плазмиды, что может быть связано с более высокой интенсивностью репликации генетической конструкции в клетках данного штамма и, как следствие, большим числом копий плазмиды, приходящимся на одну бактериальную клетку.

Таким образом, бактерии *Escherichia coli* штаммов DH5 $\alpha$  и XL1-Blue могут быть использованы для наработки плазмидного вектора для гетерологической экспрессии ионного канала AtCNGC14, причем эффективность данного процесса является штамм-специфичной. В дальнейшем выделенная плазмидная ДНК может использоваться для проведения молекулярно-генетических исследований и трансфекции животных клеток.

*Данная работа проводилась в рамках Гранта Министерства образования Республики Беларусь на выполнение научно-исследовательских работ докторантов, аспирантов, соискателей и студентов (№ГР 20250879).*

#### Список литературы

1. Calcium transport across plant membranes: a mechanistic basis and roles in the plant physiology / V. Demidchik, S. Shabala, S. Isayenkov [et. al.] // *New Phytologist*. – 2018. – Vol. 220. – P. 49–69.
2. The cyclic nucleotide-gated channel CNGC14 regulates root gravitropism in *Arabidopsis thaliana* / H.-W. Shih, C. L. DePew, N. D. Miller [et. al.] // *Curr. Biol*. – 2015. – Vol. 25. – P. 3119–3125.
3. Wang, Y. Functional characterization of plant ion channels in heterologous expression systems / Y. Wang // *Plant Electrophysiology*. – 2012. – Vol. 13. – P. 301–321.

## ВЛИЯНИЕ ИНКРУСТАЦИИ СЕМЯН ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМИ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА В ОРГАНИЧЕСКОМ РАСТВОРИТЕЛЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ (*ZEА МАУS* L.) К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ

Небышинец П. А., Самович Т. В.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: polinanebyshinets@gmail.com, samovich77@gmail.com

*Изучено влияние покрытия семян кукурузы (*Zea mays* L.) пленкообразующими полимерными составами на основе поливинилацетата в органическом растворителе с добавлением различных ростостимулирующих компонентов на рост и развитие проростков в условиях солевого стресса. Выявлено, что при разном уровне солевого стресса - 0,5 и 1% NaCl, оптимальная эффективность достигается включением брассиностероидов (эпибрассинолида и брассинолида) в пленкообразующий состав.*

Кукуруза (*Zea mays* L.) – важнейшая сельскохозяйственная культура в мире, она является основой продовольственной безопасности, кормом для скота и сырьем для производства биоэтанола [6]. Однако ее выращивание все чаще сталкивается с экологическими проблемами, в частности с засолением почв, которое серьезно ограничивает рост, урожайность и качество продукции. Для повышения устойчивости к солевым стрессам кукуруза использует ряд адаптивных механизмов, в том числе усиление активности антиоксидантных ферментов и модуляцию уровня растительных гормонов, которые действуют синергически для поддержания баланса активных форм кислорода (АФК) и ионного гомеостаза [4].

Брассиностероиды (БС) – полигидроксильированные стероидные гормоны, которые регулируют широкий спектр физиологических процессов в растениях [5]. Сообщалось, что применение БС повышает интенсивность фотосинтеза при абиотических стрессах у различных культур [1, 9, 3, 10]. Механизмы, посредством которых БС оказывают свое действие, в основном включают сигнальную каскадную реакцию, опосредованную специфическими рецепторными белками и дополнительно усиливаемую транскрипционными факторами, которые являются важными компонентами сигнального пути БС [2, 8]. У кукурузы сигнальный путь брассиностероидов также является важным регулятором роста как в оптимальных условиях, так и в условиях стресса [7].

Целью данной работы являлось изучение инкрустации семян кукурузы (*Zea mays* L.) пленкообразующими составами (ПС) на основе поливинилацетата (ПВА) и органического растворителя в условиях солевого стресса (0,5 и 1 % NaCl).

Объектом исследования служили растения кукурузы (*Zea mays* L.) сорта Полесский 212 СВ. Варианты обработки семян: 1-2 Контроль – без обработки (б/о); 3 Семена, обработанные протравителем Тирам; 4. Семена, обработанные уксусной кислотой (УК); 5. ПС базовый (ПСб) – 2 % ПВА, изопропанол, УК, ТМТД; 6. ПСб + брассинолид (БЛ)  $10^{-8}$ М; 7. ПСб + эпибрассинолид (ЭБЛ)  $10^{-8}$ М; 8. ПС комплексный – ПСб +  $K_2HPO_4$  + микроэлементы (м/э) + БЛ  $10^{-8}$ М; 9. ПСк + ЭБЛ  $10^{-8}$ М. Расчет необходимого количества фосфата и м/э осуществляли исходя из требований сельскохозяйственных культур в питательных элементах при посеве.

Семена, в количестве 75 шт. на вариант проращивали 10 суток в ростовой камере (Conviron, CMP6010, Winnipeg, Canada) при температуре 25°C с циклом 14 ч свет/10 ч темнота, освещенности ~ 15 тыс. люкс и относительной влажности 65–70 %. Для выращивания использовали пластиковые контейнеры с крышкой (0,5 л), заполненные кварцевым песком. Влажность песка строго контролировалась весовым методом с ежедневной корректировкой до постоянной массы. Вариант 1 выращивали на воде, все остальные на 0,5 и 1% растворах NaCl. При появлении первых всходов контейнеры поливали питательным раствором Хогланда в количестве  $\frac{1}{4}$  от полной дозы. Повторность опыта 3-

кратная. Статистическую значимость анализировали с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и post-hoc теста Тьюки ( $p < 0.05$ ).

В ходе исследования было установлено, что при меньшем солевом стрессе (0,5 %) во всех вариантах обработок семян прирост длины надземной части составил 15–29 % и главного корня 87–140 % относительно стрессового контроля. Самый большой прирост был в вариантах обработок семян базовым и комплексным пленкообразующим составом с ЭБЛ (рисунок 1).

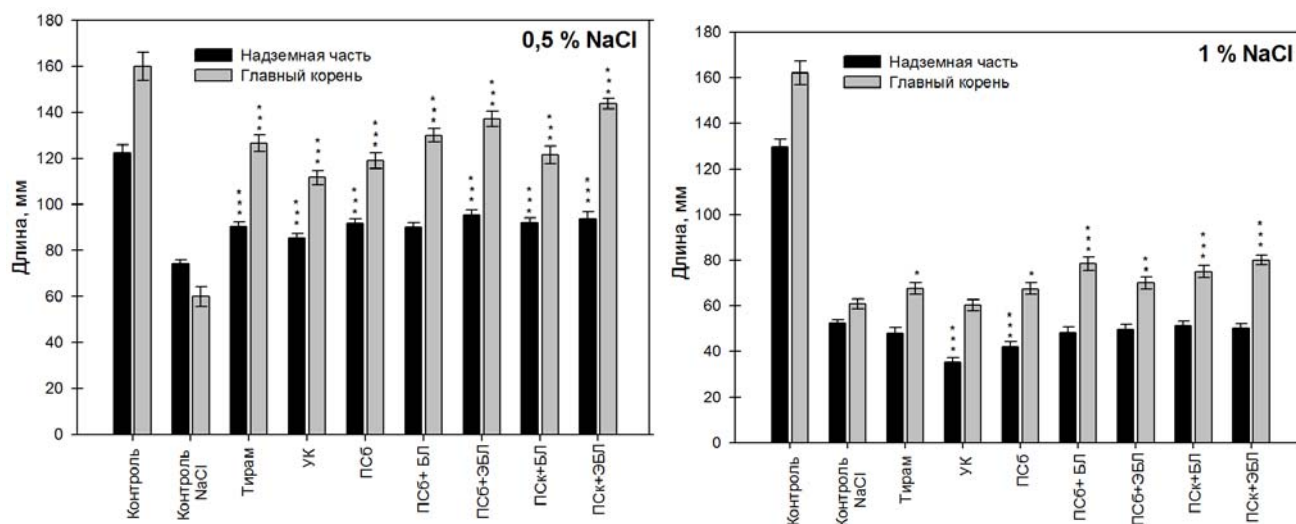


Рисунок 1 – Длина надземной и подземной части растений кукурузы, выросших в условиях солевого стресса; звездочка указывает на статистически значимое отличие от стрессового контроля (\*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ )

В варианте с 1 % раствором соли длина надземной части ингибировалась при обработке семян Тиразом и УК, а для остальных вариантов обработок оставалась на уровне стрессового контроля. Длина главного корня стимулировалась для всех вариантов обработок, кроме обработки УК, наибольшее среднее значение длины было достигнуто при обработке семян базовым пленкообразующим составом с БЛ (29% к стрессовому контролю) и комплексным с ЭБЛ (32% к стрессовому контролю).

Таким образом, покрытие семян поливинилацетатными пленкообразующими композициями, обогащенными брассиностероидами (брасинолид, эпибрасинолид), показало возможность существенно снижать негативное воздействие солевого стресса на растения кукурузы. Защитное действие ПВА-покрытий наиболее выражено для корневой системы, что критично для преодоления солевого стресса (улучшение поглощения воды/питательных веществ). При концентрации соли 0,5% обработка семян УК (без пленки) показала положительный эффект (рост надземной части и корня) по сравнению со стрессовым контролем, но хуже, чем варианты с пленочным покрытием. При 1% NaCl надземная часть ингибировалась, а длина корневой системы не отличалась от стрессового контроля. Это подчеркивает тот факт, что обработка семян пленкообразующими составами на основе ПВА и органического растворителя имеет перспективы для защиты семян от солевого стресса. Полимерная матрица (ПВА) обеспечивает пролонгированное действие активных компонентов, физическую защиту семени от ионного стресса и контролируемое высвобождение различных ростстимулирующих компонентов и фитогормонов.

#### Список литературы

1. Дробышевский Н.П. Ревизия и аудит: учеб.-метод. пособие / Н.П. Дробышевский. – Минск: Амалфея: Мисанта, 2013. – 415 с.

2. Ali, B. 28-homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) / B. Ali, S. Hayat, A. Ahmad // Environ Exp Botany. – 2007. – Vol. 59, №2. – P. 217–223.
3. Brassinosteroids protect photosynthesis and antioxidant system of eggplant seedlings from high-temperature stress / X. Wu, X. Yao, J. Chen [et al.] // Acta physiologia plantarum. – 2014. – Vol. 36, № 2. – P. 251–261.
4. Ciccarelli, D. Study of functional and physiological response of co-occurring shrub species to the Mediterranean climate / D. Ciccarelli, S. Bottega, C. Spano // Saudi J. Biol. Sci. – 2019. – Vol. 26, № 7. – P. 1668–1675.
5. Clouse, S. D. Brassinosteroids / S. D. Clouse // Arab. Book. – 2011. – Vol. 9. – P. 1–28.
6. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications / O. Erenstein, M. Jaleta, K. Sonder [et al.] // Food Secur. – 2022. – Vol. 14, № 5. – P. 1295–1319.
7. Maize ZmBES1/BZR1-5 decreases ABA sensitivity and confers tolerance to osmotic stress in transgenic Arabidopsis / F. Sun, H. Yu, J. Qu // Int J Mol Sci. – 2020. – Vol. 21, № 3. – P. 1–16.
8. Overexpression of a *Zea mays* brassinosteroid-signaling kinase gene ZmBSK1 confers salt stress tolerance in maize / L. Liu, Y. Sun, P. Di [et al.] // Front Plant Sci. – 2022. – Vol. 13. – P. 1–12.
9. Qayyum, B. Interactive effect of foliar application of 24-epibrassinolide and root zone salinity on morpho-physiological attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.) / B. Qayyum, M. Shahbaz, N. A. Akram // Int. J. Agri. Biol. – 2007. – Vol. 9, № 4. – P. 584–589.
10. Interactive effects of CO<sub>2</sub> enrichment and brassinosteroid on CO<sub>2</sub> assimilation and photosynthetic electron transport in *Cucumis sativus* / Y. P. Jiang, F. Cheng, Y. H. Zhou // Environmental and Experimental Botany. – 2012. – Vol. 75. – P. 98–107.

## ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Овчинников И. А.<sup>1</sup>, Люшкевич В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: igor-1606@mail.ru

<sup>2</sup>ГНУ «Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

В материалах приводятся данные влияния обработки семян плазмой диэлектрического барьерного разряда на всхожесть и биометрические параметры двудольных и однодольных растений.

**Введение.** В последнее время различные плазменные обработки эффективно используются в сельском хозяйстве в качестве альтернативы традиционной предпосевной обработке семян. Использование плазменных технологий имеет целый ряд преимуществ по сравнению с традиционными, а именно равномерность обработки, сохранение целостности семян, отсутствие необходимости использования химических препаратов [1].

В связи с этим исследовано влияние обработки плазмой диэлектрического барьерного разряда семян на всхожесть и биометрические параметры двудольных и однодольных культур.

**Материалы и методы.** Объектом исследования служили растения пшеницы (*Triticum aestivum* L.), овсяницы (*Festuca pratensis* Huds.), клевера (*Trifolium pratense* L.) и люцерны (*Medicago sativa* L.). Обработку семян проводили плазмой диэлектрического барьерного разряда (ДБР) в течение 2 минут. Контролем служили необработанные растения. Растения выращивали в чашках Петри на дистиллированной воде. Всхожесть рассчитывали согласно ГОСТу [2], биометрические параметры надземной части проростков (длина, масса) считали на сутки определения всхожести. Статистическую обработку результатов осуществляли с применением общепринятых методик [3]. На диаграммах приведены средние значения показателей с указанием стандартной ошибки средней, надстрочные символы обозначают достоверность различий средних значений по критерию Стьюдента при  $p \leq 0,05$ : а – различия достоверны относительно необработанных семян.

**Результаты и обсуждения.** Не выявлено различий во всхожести между обработанными и необработанными семенами у всех исследуемых культур (рисунок 1).

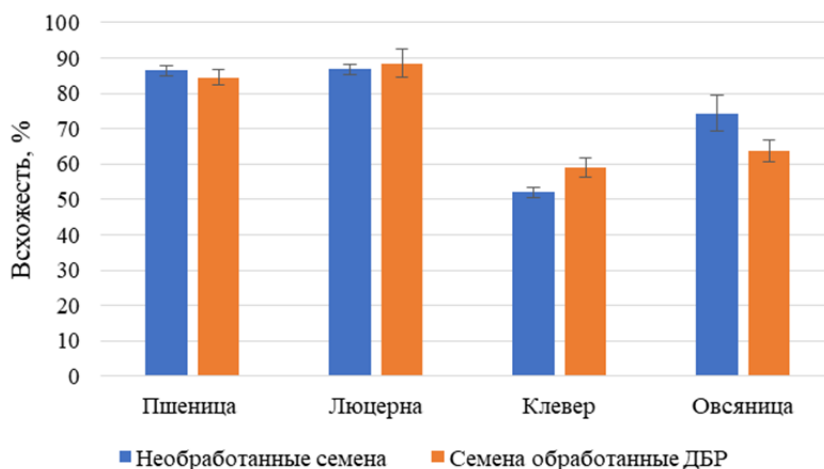
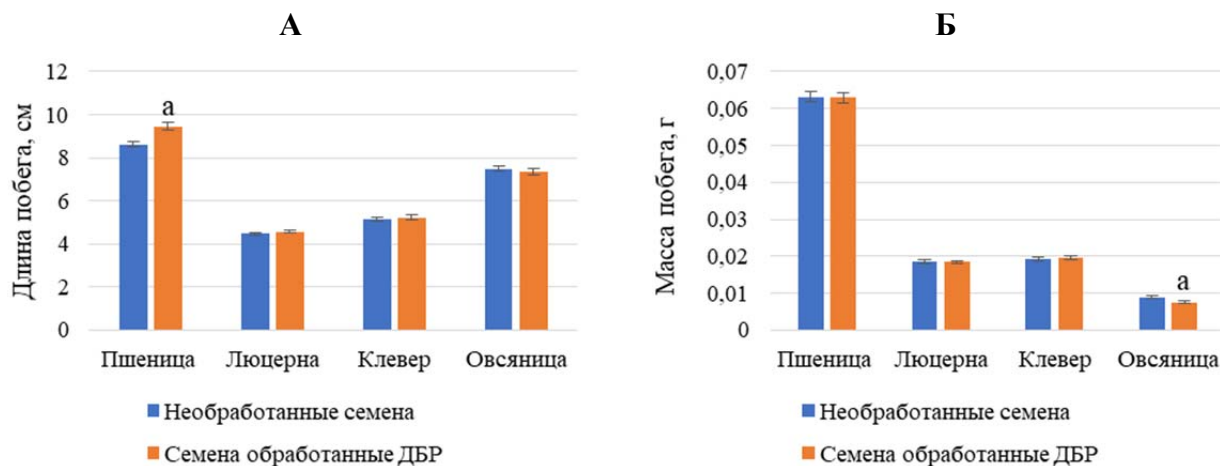


Рисунок 1 – Всхожесть обработанных и необработанных семян различных культур

Длина и масса побегов проростков у люцерны, клевера и овсяницы после обработки семян не отличалась от растений с необработанными семенами. Однако у проростков пшеницы с обработкой семян ДБР длина побега увеличилась на 10 % относительно растений из необработанных семян. В то же время у растений овсяницы масса побега в варианте обработки ДБР была ниже на 16 % относительно контрольных растений (рисунок 2).



**Рисунок 2 –Длина (А) и масса (Б) побегов растений, выращенных из обработанных и необработанных плазмой диэлектрического барьерного разряда семян**

**Выводы.** Обработка семян плазмой диэлектрического барьерного разряда не привела к улучшению всхожести семян исследуемых растений. Выявлено, что у проростков однодольных культур обработка семян плазмой диэлектрического барьерного разряда способствовала ускорению роста проростков пшеницы, но в то же время привела к снижению массы проростков овсяницы. У проростков двудольных культур из обработанных ДБР семян не выявлено изменений биометрических параметров относительно растений, выращенных из необработанных семян.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ № Ф24КИТГ-012.*

#### Список литературы

1. Zahoranova, A. Effect of Cold Atmospheric Pressure Plasma on the Wheat Seedlings Vigor and on the Inactivation of Microorganisms on the Seeds Surface / A. Zahoranova [et al.] // Plasma chemistry and plasma process. – 2016. – Vol. 36, N 2. – P. 397–414.
2. Семена сельскохозяйственных культу. Методы определения всхожести: ГОСТ 12038–84. – Введ. 19.12.84. – М: Издательство стандартов, 1985. – 58 с.
3. Grantz, S. A. Primer of Biostatistics / ed. S. Grantz. – 7th ed. – New York: McGraw-Hill, 2011. – 320 p.

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНДУКЦИИ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ *SPINACIA OLERACEA* L. СОРТА  
«КРЕПЫШ»**

Онуфрейчик В. А.

ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: veronika.onuff@gmail.com

Представлены результаты исследований по оптимизации условий индукции каллусной культуры из корневых эксплантов *Spinacia oleracea* L. Установлено, что модифицированная среда MS, с добавлением 1,0 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) и 0,2 мг/л 6-бензиламинопурина (6-БАП), способствует активной дедифференцировке и формированию морфологически неоднородного каллуса. Морфологический анализ выявил наличие как паренхимных, так и меристематических клеток, что свидетельствует о высокой регенерационной способности полученной каллусной ткани.

Введение. Каллусообразование представляет собой один из ключевых процессов в культуре тканей растений, определяющий успех последующих стадий органогенеза и соматического эмбриогенеза. Каллус, как совокупность дедифференцированных паренхимных клеток, является универсальной моделью для изучения регуляции клеточной тотипотентности, а также служит объектом для получения биологически активных веществ в рамках фармацевтических, пищевых и косметологических биотехнологий [1].

Особый интерес в контексте каллусной культуры представляют виды, обладающие выраженными нутрицевтическими и фармакологическими свойствами. К таким культурам относится *Spinacia oleracea* L. – ценный источник витаминов, макро- и микроэлементов, фенольных соединений и других биоактивных компонентов, актуальных для разработки функциональных продуктов и растительных препаратов [2].

Целью настоящего исследования явилась оптимизация условий индукции каллусной культуры из корневых эксплантов *S. oleracea* сорта «Крепыш» и последующая оценка её морфологической структуры и жизнеспособности.

Материалы и методы. Исходным материалом служили проростки сорта *Spinacia oleracea* «Крепыш», полученные путём проращивания стерилизованных семян на половинной MS среде без добавления гормонов при температуре 25 °С в тёмных условиях. Стерилизацию семян осуществляли поэтапно: 5 мин в 0,05% растворе перманганата калия, затем 2–3 мин в 70% этаноле, далее – 7 мин в 20% растворе гипохлорита натрия с последующим трёхкратным промыванием стерильной водой.

Для инициации каллусогенеза части корня нарезают на небольшие диски и культивируют на среде MS с различными комбинациями регуляторов роста: 2,4-Д (0,5–1,0 мг/л), 6-БАП (0,2–0,5 мг/л), кинетин (0,5 мг/л). Культивирование проводят в условиях термостата при 25 °С в отсутствие освещения (в темноте). Частоту каллусогенеза оценивали через 30–40 суток по наличию и объёму каллусной массы. Морфологические характеристики каллуса исследовали с использованием световой микроскопии. Препараты окрашивали нейтральным красным для оценки жизнеспособности клеток [5].

Результаты и обсуждение. Анализ эффективности стерилизации показал, что процент неинфицированных образцов составлял  $70 \pm 9$  %, при всхожести семян на уровне  $73 \pm 5$  %, что свидетельствует об успешности выбранного протокола стерилизации.

На корневых эксплантах индукция каллусогенеза наблюдалась спустя 14 суток культивирования. На ранних этапах экспериментирования установлено, что среда с 0,5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л 2,4-Д индуцирует формирование каллуса, однако характеризуется низкой пролиферативной активностью.

Замена кинетина на 6-БАП позволила повысить эффективность индукции. Максимальный прирост каллусной массы наблюдался при концентрации 1,0 мг/л 2,4-Д в сочетании с 0,5 мг/л 6-БАП. При этом снижение концентрации цитокинина до 0,2 мг/л

сопровождалось ещё более выраженной пролиферацией, что соответствует данным о стимуляции дедифференцировки высоким уровнем ауксина при умеренном содержании цитокининов [4].

Каллус, полученный при оптимальных условиях, имел рыхлую консистенцию, бежевую с белыми включениями окраску и состоял из обводнённых легко распадающихся клеток (рис. 1). Наиболее активно растущие культуры использовались для морфологического анализа.



Рисунок 1 – Внешний вид корневого каллуса шпината огородного

Микроскопическое исследование показало наличие двух морфологических типов клеток:

1. Паренхимные клетки – крупные, вакуолизированные, вытянутой формы, часто с невыраженным ядром, что указывает на высокий уровень дедифференцировки.
2. Меристематические клетки – мелкие, округлой формы, с плотной цитоплазмой и чётко выраженным ядром; локализованы в виде компактных агрегатов, предположительно соответствующих морфогенным зонам (рис. 2).

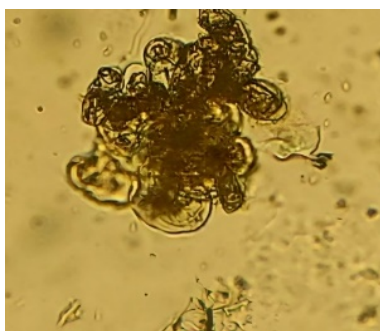


Рисунок 2 – Внешний вид паренхимных и меристематических клеток корневого каллуса *S. oleracea*

Все клетки продемонстрировали равномерное окрашивание нейтральным красным, что свидетельствует о 100 % жизнеспособности ткани на момент анализа.

Заключение. В результате проведённой работы была успешно инициирована каллусная культура из корневых эксплантов шпината огородного (*Spinacia oleracea*). Установлены оптимальные условия для индукции каллусообразования – среда MS с добавлением 1 мг/л 2,4-Д и 0,2 мг/л 6-БАП, которая обеспечила интенсивный прирост каллусной массы. Проведённый морфологический анализ показал наличие двух типов клеточных линий:

паренхимных и меристематических, что свидетельствует о высокой степени дедифференцировки и потенциальной способности культуры к дальнейшему органогенезу.

Установлено, что окрашивание нейтральным красным подтвердило высокую жизнеспособность клеток (95 %), что указывает на успешность применённых условий культивирования и пригодность полученной каллусной культуры для дальнейших биотехнологических исследований.

#### **Список литературы**

1. George E. F., Hall M. A., De Klerk G.-J. Plant Propagation by Tissue Culture. Springer, 2008.
2. Plants of the genus *Spinacia*: From bioactive molecules to food and phytopharmacological applications / B. Salehi [et al.]. – Trends Food Sci. Technol, 2019. – 260-273 p.
3. Murashige, T. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures / T. Murashige, F. Skoog // *Physiol Plant.* – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.
4. Fehér, A. Somatic embryogenesis — Stress-induced remodeling of plant cell fate / A. Fehér // *Biochim. Biophys. Acta.* – 2015. – Vol. 1849. – P. 385–402.
5. Ruzin S.E. Plant Microtechnique and Microscopy. Oxford University Press, 1999.

## ЗНАЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ЗАЩИТЕ И ПРОФИЛАКТИКЕ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

Палязова Я. З., Карриева Р. Б.

Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз, Туркменистан  
e-mail: yangilnonnazikjema@gmail.com

Традиционно борьба с ними велась с использованием химических пестицидов. Однако применение химических средств может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, представлять угрозу для здоровья человека и способствовать развитию устойчивости у патогенов. В связи с этим биологические средства защиты растений приобретают всё большее значение. Эти методы предлагают экологически чистые и устойчивые альтернативы химическим веществам. Биологические средства — это живые организмы или их продукты, которые используются для контроля болезней растений. Их основные типы и механизмы действия включают:

**Биопестициды** — это вещества или микроорганизмы природного происхождения, используемые для борьбы с вредителями и возбудителями болезней. Они менее токсичны, чем синтетические пестициды, менее вредны для окружающей среды и часто обладают более целенаправленным действием на патогены. **Биопестициды на основе микробов:** к ним относятся бактерии (например, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*), грибы (например, *Trichoderma spp.*, *Beauveria bassiana*) и вирусы. *Bacillus subtilis*: Эти бактерии производят антибиотические вещества, подавляющие рост патогенных грибов и бактерий. Они также могут индуцировать системную устойчивость (ISR - Induced Systemic Resistance) у растений, что повышает общую защитную способность растения против болезней. *Trichoderma spp.*: Эти грибы обладают антагонистическим действием против многих патогенных грибов. Они контролируют патогены путём прямого паразитизма (микопаразитизм), выработки антибиотических веществ и конкуренции за питательные вещества с растениями. Они также могут колонизировать корневую систему растений, стимулируя их рост и повышая устойчивость к стрессу.

**Биохимические биопестициды:** Вещества, полученные из растений или других природных источников, например, феромоны, растительные экстракты. Они могут напрямую убивать патогены или ингибировать их рост. **Хищники и паразиты:** В основном используются против вредных насекомых, но некоторые паразитические грибы и бактерии также применяются против возбудителей болезней. **Антагонистические микроорганизмы:** Микроорганизмы, которые конкурируют с патогенами за пищу и пространство или напрямую подавляют их. Такие агенты живут на поверхности растений или в их корнях, создавая неблагоприятную среду для развития возбудителей болезней. Использование биологических средств имеет ряд существенных преимуществ и некоторые недостатки.

**Экологическая безопасность:** в отличие от химических пестицидов, биологические средства не наносят вреда окружающей среде, водным источникам и нецелевым организмам (например, опылителям, почвенной микрофлоре). Они биоразлагаемы и не накапливаются в почве.

- **Безопасность для здоровья человека:** Их остатки в пищевых продуктах практически отсутствуют или содержатся в очень малых количествах, что обеспечивает безопасность для потребителей.

- **Снижение устойчивости патогенов:** поскольку биологические средства часто имеют несколько механизмов действия, вероятность развития устойчивости у патогенов к ним ниже.

- **Стимуляция роста растений:** Некоторые биологические средства (например, *Trichoderma spp.*, *Pseudomonas fluorescens*) вступают в симбиотические отношения с корнями растений, улучшая усвоение питательных веществ и стимулируя общий рост растений.

• Долгосрочная эффективность: Введённые в почву биоагенты могут оставаться активными в течение длительного времени и постепенно размножаться, что снижает необходимость повторного применения.

В современном сельском хозяйстве внедрение биологических средств является важной частью системы *интегрированной защиты растений (IPM - Integrated Pest Management)*. Система IPM объединяет биологические, агротехнические методы и, при необходимости, минимальное использование химических средств. Этот подход направлен на минимизацию вреда для окружающей среды при обеспечении высокой урожайности.

В будущем эффективность биологических средств будет повышаться по следующим направлениям: *Генная инженерия и биотехнология*: Генетическая модификация микроорганизмов для повышения их способности бороться с патогенами. Это может быть усиление их способности производить антимикробные вещества или повышение их адаптивности к окружающей среде. *Нанотехнологии*: Использование микрокапсулирования биопестицидов или их применение в сочетании с наночастицами для улучшения их стабильности, срока хранения и целенаправленного действия. *Управление микробиомом*: Изучение и воздействие на состав микробиома почвы вокруг корней растений для повышения их устойчивости к болезням. Здоровый и разнообразный микробиом играет ключевую роль в защите растений от патогенов. *Наука о данных и искусственный интеллект*: Использование больших данных и алгоритмов для прогнозирования моделей распространения болезней и определения оптимального времени для применения биологических средств.

**Закключение.** Использование биологических средств в защите растений от болезней ведёт сельское хозяйство к зелёному и устойчивому будущему. Они предлагают экологически чистые и эффективные альтернативы химическим пестицидам, способствуя защите окружающей среды, сохранению здоровья человека и повышению качества сельскохозяйственной продукции. Их применение, особенно в рамках интегрированных систем защиты, становится всё более важным в современной земледелии.

#### Список литературы

1. Захаренко, В. А. Биологическая защита растений: достижения и перспективы. Москва: КолосС, 2005.
2. Гришечкина, С. А., Жукова, М. В., Ахатов, А. К. Биологические средства защиты растений: состояние и перспективы развития. Владимир: ВНИИМС, 2012.
3. Кузнецов, В. А. Использование штаммов *Bacillus subtilis* для повышения устойчивости растений к фитопатогенам / В. А. Кузнецов, Д. В. Смирнов // Защита и карантин растений. – 2018. – № 11. – С. 23–27.
4. Волков, Г. В. Роль грибов рода *Trichoderma* в биологическом контроле почвенных фитопатогенов / Г. В. Волков, Е. Л. Петрова // Агрохимия. – 2019. – № 3. – С. 45–52.
5. Иванова, М. Н. Биотехнологические подходы к созданию устойчивых сортов растений в рамках интегрированной защиты / М. Н. Иванова, О. А. Сидоров // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 88–95.

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙ-СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВНЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТКЕ

Полевик Е. А., Молчан О. В.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск,  
Республика Беларусь  
e-mail: polevik00@internet.ru

*Проведено исследование влияния наночастиц кремния на активность пероксидазы и содержание фенольных соединений в десятидневных проростках пшеницы. Установлено, что внекорневая обработка наночастицами кремния приводит к увеличению сухой массы, содержания фенольных соединений и активности пероксидазы в проростках. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых видов удобрений на основе наночастиц кремния, которые обеспечивают более целенаправленное и эффективное воздействие на растения по сравнению с традиционными удобрениями.*

**Введение.** Кремний (Si) является важным элементом для живых организмов и играет важную роль в защите растений от абиотических и биотических стрессоров. Он усиливает каталитическую активность ферментов, например, пероксидазы, каталазы и супероксиддисмутазы. Кремний стимулирует выработку таких антиоксидантных соединений, как продукты фенольного метаболизма, в том числе флавоноидов и фитоалексинов. Благодаря кремнию растениям становится доступно больше фосфора для усвоения [1].

Нанопрепараты на основе кремния стимулируют ростовые процессы, ускоряют наступление фаз кущения и созревания, что может быть связано с увеличением энергии для метаболических процессов и синтеза сахаров. Наночастицы кремния способствуют лучшему усвоению азота, серы и калия. Существуют данные, что прайминг наночастицами кремния при определенных условиях позволяет активировать прорастание семян, рост корней и надземной части проростков пшеницы [2].

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись десятидневные проростки пшеницы сорта «Дарья». В опытах использовали водные суспензии наночастиц кремния с различной концентрацией (0,1, 1 и 10 мг/л), приготовленные на дистиллированной воде комнатной температуры. Пероксидазную активность анализировали по методу Кумара и Хана [3]. Аналитическая смесь содержала 1 мл 0,1 М фосфатного буфера (pH 6,8), 0,5 мл 0,01 М пирогаллола, 0,5 мл 0,005 М  $H_2O_2$  и 0,25 мл ферментного экстракта. Раствор инкубировали 5 мин при 25 °С, после чего реакцию останавливали добавлением 1 мл 2,5 М  $H_2SO_4$ . Количество образовавшегося пурпурогаллина определяли путем измерения оптической плотности при 420 нм относительно контрольного образца, приготовленного путем добавления экстракта после 2,5 М  $H_2SO_4$  в нулевой момент времени. Активность выражали в относительных единицах ( $U \cdot мг^{-1} \text{ белка} \cdot мин^{-1}$ ). Одна единица определяется как изменение оптической плотности на 0,1.

Для определения содержания фенольных соединений экстракты были предварительно разбавлены в 5 раз. К 50 мкл разбавленного экстракта добавляли 1,9 мл дистиллированной воды, 25 мкл реактива Фолина-Дениса и 0,5 мл 10 %-го раствора карбоната натрия, хорошо перемешивали [4]. Реакционную смесь оставляли на 30 минут в темноте при комнатной температуре. По истечении времени измеряли оптическую плотность поглощения раствора при длине волны 765 нм с использованием спектрофотометра СФ-2000 (РФ).

Использовали не менее 80 растений для каждого варианта эксперимента в четырех биологических повторностях. Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами с использованием программы Microsoft Excel. На рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные отклонения. В работе обсуждаются величины, статистически значимые при  $p \leq 0,05$  [5].

Результаты и их обсуждение. На первых этапах исследования было обнаружено, что обработка суспензией наночастиц с концентрацией 0,1 мг/л приводила к увеличению сухой массы на 7 % по сравнению с контролем и составила 11,9 мг.

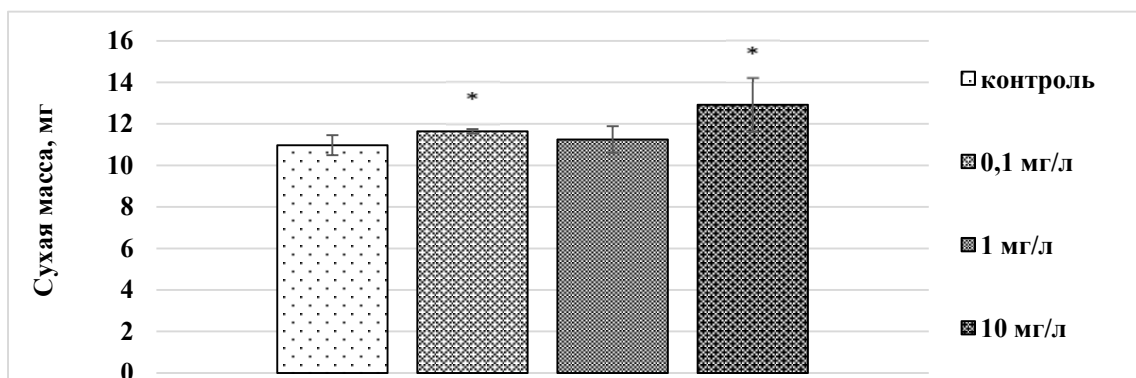


Рисунок 1 – Воздействие кремний содержащих наночастиц сухую массу проростков пшеницы (\* – достоверно при  $p < 0,05$ )

Наибольшая сухая масса была обнаружена у проростков, которые были обработаны наночастицами кремния с концентрацией 10 мг/л, и составила  $13,465 \pm 0,459$  мг. В контроле этот показатель был ниже в среднем на 16 %.

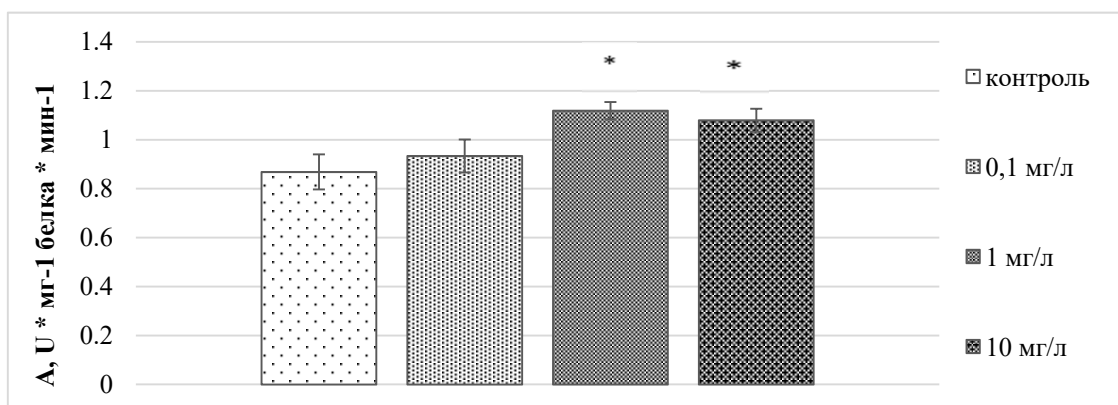


Рисунок 2 – Влияние наночастиц кремния на пероксидазную активность (\* – достоверно при  $p < 0,05$ )

При исследовании влияния наночастиц кремния на пероксидазную активность было выявлено, что повышение дозы нанопрепарата приводит к увеличению активности фермента. В проростках пшеницы, обработанных суспензиями наночастиц в концентрации 1 и 10 мг/л, пероксидазная активность была выше примерно на 18% и 17% соответственно.

Внекорневая обработка проростков раствором наночастиц с концентрацией 0,1 мг/л приводила к увеличению содержания фенольных соединений примерно на 15 % по сравнению с контролем и составила  $25,11 \pm 0,859$  мг/г. В других двух вариантах содержание фенольных соединений также было несколько выше в сравнении с контрольным вариантом.

Как известно, фенольные соединения принимают участие в регуляции роста и развития растений, влияют на гормональный баланс. Например, они могут взаимодействовать с ауксинами и другими гормонами, что может способствовать росту.

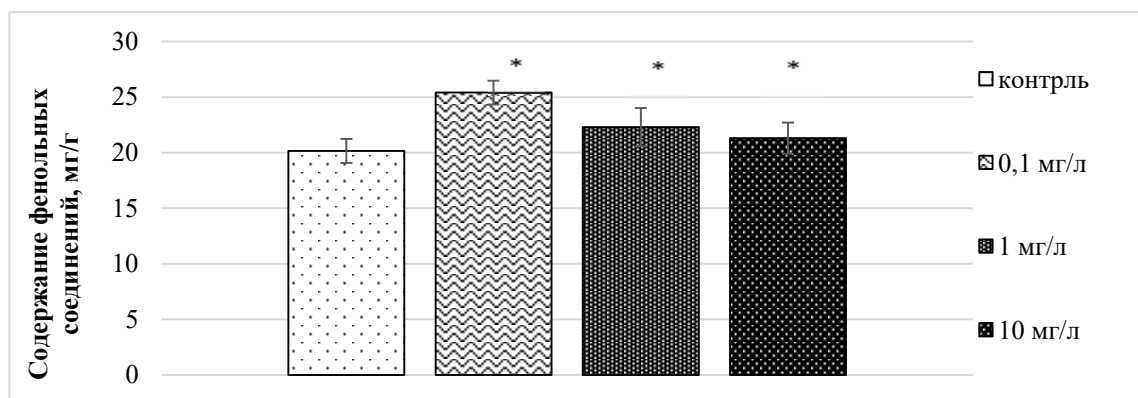


Рисунок 3 – Влияние наночастиц кремния на содержание фенольных соединений (\*– достоверно при  $p < 0,05$ )

Увеличение содержания сухой массы, фенольных соединений и активности пероксидазы может указывать на то, что в растениях происходят активные ростовые процессы.

Выводы. Было обнаружено, что кремний-содержащие наночастицы оказали влияние на ростовые процессы и активность антиоксидантной системы. Обработка наночастицами приводила к увеличению содержания фенольных соединений в проростках пшеницы во всех экспериментальных вариантах и к повышению активности пероксидазы у растений, обработанных кремни-содержащими наночастицами с концентрацией 1 мг/л и 10 мг/л.

*Благодарности.* Работа выполнена при поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований БРФФИ Б23М-060. Так же выражается благодарность НТООО "АКТЕХ" за предоставленные кремний-содержащие наночастицы.

#### Список литературы

1. Матыченков, В. В. Кремневые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений/ В. В. Матыченков. – М : Агрохимия, 2007. – 431 с.
2. Полевик, Е. А. «Влияние наночастиц кремния на морфометрические параметры проростков пшеницы» / Е. А. Полевик // Молодежь в науке – 2024: тезисы докладов XXI Международной научной конференции молодых ученых (Минск, 29–31 октября 2024 г.). В двух частях. Ч. 1. Аграрные, биологические, гуманитарные науки и искусства / Национальная академия наук Беларуси, Совет молодых ученых; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2024. – с. 401.
3. Kumar, K. B. Peroxidase and polyphenol oxidase in excised ragi (*Eleusine coracana* cv.PR 202) leaves during senescence / K. B. Kumar, P. A. Khan // Indian Journal of Experimental Botany. – 1982. – Vol. 20. – P. 412–416.
4. Folin, O. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins / O. Folin, V. Ciocalteu // J. Biol. Chem. – 1927. – Vol. 73, №2. – P. 627–650.
5. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Высш. школа, 1973. – 320 с

## БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМНОЖЕНИЯ СОРТОВ ЕЖЕВИКИ

Потапова Ю. А.<sup>1</sup>, Голышев С. Н.<sup>1</sup>, Никитина А. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Удмуртский государственный аграрный университет»,  
г. Ижевска, Удмуртская Республика, Российская Федерация  
e-mail: potapova2420@mail.ru

*В статье представлены результаты исследований по клональному микроразмножению перспективных сортов ежевики (Rubus subgen. Rubus) в условиях in vitro. Изучено влияние состава питательной среды, концентрации 6-бензиламинопурина (6-БАП) на коэффициент размножения, эффективность различных регуляторов роста на ризогенез и адаптацию микропобегов к нестерильным условиям. Установлены оптимальные параметры культивирования, обеспечивающие высокий выход генетически однородного посадочного материала. Полученные данные имеют практическое значение для коммерческого размножения ценных сортов ежевики.*

Актуальность. Биотехнологические методы размножения ежевики в культуре *in vitro* обусловлена растущим спросом на качественный посадочный материал в условиях интенсивного развития ягодоводства Удмуртской Республики. Традиционные растения, требуют значительных временных затрат и зависят от сезонных факторов. Клональное микроразмножение позволяет решить эти проблемы, обеспечивая массовое производство растений с высоким коэффициентом размножения в течение всего года. Разработка эффективных протоколов *in vitro* культивирования для перспективных сортов ежевики также имеет особое значение для ускорения селекционного процесса, внедрения новых сортов в производство и организации рентабельного производства посадочного материала. Полученные результаты представляют, как научный интерес в области изучения морфогенетического потенциала культуры, так и практическую ценность для коммерческих питомников и селекционных центров, способствуя развитию отечественного садоводства и импортозамещению в данной отрасли [3].

Материалы и методика. В работе пользовались общепринятыми в практике клонального микроразмножения методами: введение в стерильную культуру, пролиферация и укоренение *in vitro* с последующей адаптацией к условиям *in vivo* [1].

Культивирование *in vitro* проводилось в светоконате при температуре  $+23 \pm 2$  °C при продолжительности фотопериода 16 часов. Пересадку на свежие питательные среды осуществляли каждые 30–35 сут.

Объектом исследования служили микрорастения ежевики сортов Лох Несс, Апачи, Холс Бьюти. Для проведения опыта применяли стандартные микрорастения, соответствующие ГОСТ 54051–2010 [2].

Адаптация проводилась в микропарниках на торфяном питательном грунте Terra Nova. Субстрат перед посадкой проливали раствором «Триходерма вериде» в дозе 1,5 мл/л. Микрорастения были очищены от нижних листьев, корни промыты от агаризованной питательной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия.

Результаты исследования. Инициирование стерильной культуры остается ключевым этапом микроразмножения ягодных культур, что подтверждается последними исследованиями [8]. Современные работы подчеркивают важность точного подбора условий культивирования для реализации морфогенетического потенциала эксплантов [7].

В исследовании применяли модифицированные питательные среды Мурасиге Скуга, с половинным содержанием Мурасиге Скуга, Кворина Лепуавра, с половинным содержанием Кворина Лепуавра (MS,  $\frac{1}{2}$ MS, QL,  $\frac{1}{2}$ QL) с добавлением 0,2 мг/л 6-БАП, что соответствует современным протоколам [4]. Стерилизация проводилась – 70 % этиловый спирт (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, 30 сек.) с последующим промыванием в дистиллированной воде, далее в 33 % раствором перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 6 мин.) с дальнейшим трехкратным промыванием стерильной

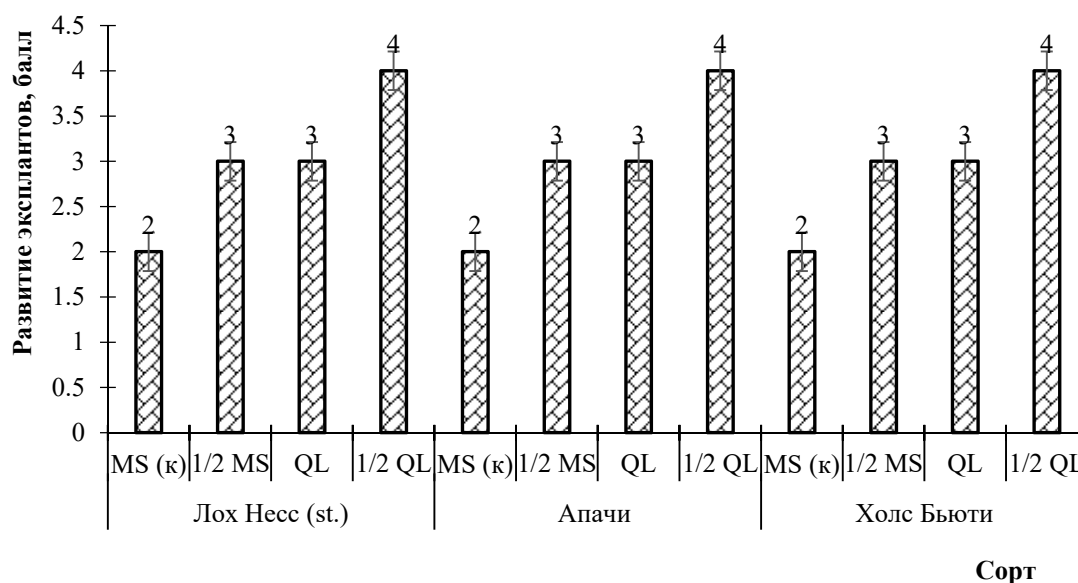
дистиллированной водой в условиях ламинар-бокса. Приживаемость эксплантов рассматривается в таблице 1.

**Таблица 1 – Приживаемость эксплантов сортов ежевики в зависимости от состава питательной среды, %**

| Сорт,<br>фактор А    |                  | Питательная среда, фактор В |      |      |      | Среднее по фактору А | Отклонение |
|----------------------|------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------------|------------|
|                      |                  | MS (к)                      | ½ MS | QL   | ½ QL |                      |            |
| Лох Несс (st.)       |                  | 40,0                        | 56,3 | 54,0 | 58,7 | 52,2                 | –          |
| Апачи                |                  | 62,0                        | 60,7 | 62,7 | 58,7 | 60,9                 | 8,7        |
| Холс Бьюти           |                  | 13,7                        | 29,3 | 21,3 | 36,0 | 25,1                 | -27,1      |
| Среднее по фактору В |                  | 38,4                        | 48,8 | 46,0 | 51,1 | –                    |            |
| Отклонение           |                  | –                           | 10,3 | 7,6  | 12,7 |                      |            |
| НСР <sub>05</sub>    | частота различий | 3,6                         |      |      |      |                      |            |
|                      | по фактору А     | 1,8                         |      |      |      |                      |            |
|                      | по фактору В     | 2,1                         |      |      |      |                      |            |

По данным таблицы видно, что сорт Холс Бьюти показал снижение приживаемости на 27,1 %, что согласуется с данными о сортовой специфичности. Сорт Апачи продемонстрировал увеличение показателя на 8,7 %, подтверждая эффективность современных методов. Наибольшая эффективность достигнута на среде ½ QL (активный рост побегов >1 см).

Результаты проведенной визуальной оценки (рисунок 1) показывают, что формирование побегов длиной свыше 1 см наблюдается у эксплантов всех изучаемых сортов на питательной среде ½ QL.



**Рисунок 1 – Визуальная оценка развития эксплантов сортов ежевики**

Слабый линейный рост отмечен в контрольном варианте питательной среды, что связываем с высоким содержанием нитрата аммония ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Этап пролиферации играет ключевую роль в микроразмножении растений, обеспечивая массовое образование микропобегов из меристематических тканей [10]. Современные исследования подчеркивают важность правильного подбора состава питательной среды и регуляторов роста для различных генотипов [5].

В работе изучали влияние среды Кворина-Лепуавра (QL) с различными концентрациями 6-БАП (0,1–1,0 мг/л) на пролиферацию сортов ежевики (таблица 2).

**Таблица 2 – Влияние концентрации 6-БАП на коэффициент размножения сортов ежевики этапа пролиферации, шт.**

| Сорт, фактор А       |                  | Концентрация, мг/л; фактор В |     |     | Среднее по фактору А | Отклонение |
|----------------------|------------------|------------------------------|-----|-----|----------------------|------------|
|                      |                  | 0 (к)                        | 0,5 | 1,0 |                      |            |
| Лох Несс (st.)       |                  | 2,3                          | 3,3 | 2,3 | 2,7                  | –          |
| Апачи                |                  | 2,0                          | 3,7 | 3,0 | 2,9                  | 0,2        |
| Холс Бьюти           |                  | 1,3                          | 1,7 | 2,0 | 1,7                  | -1,0       |
| Среднее по фактору В |                  | 1,9                          | 2,9 | 2,4 | –                    |            |
| Отклонение           |                  | –                            | 1,0 | 0,6 |                      |            |
| НСР <sub>05</sub>    | частота различий |                              |     |     | 1,1                  |            |
|                      | по фактору А     |                              |     |     | 0,5                  |            |
|                      | по фактору В     |                              |     |     | 0,6                  |            |

Сорт Холс Бьюти продемонстрировал наименьший коэффициент размножения (1,0 шт.) по сравнению с контролем (2,7 шт.). Оптимальная концентрация 6-БАП составила 0,5 мг/л, обеспечивая средний коэффициент размножения 2,9 шт.

Анализируя таблицу 3, наблюдаем что по сортам Холс Бьюти отмечено существенно низкая длина микропобегов на 2,1 мм по сравнению с стандартным сортом (стандарт – 12,1 мм; НСР<sub>05</sub> – 1,2 мм).

**Таблица 3 – Влияние концентрации 6-БАП на среднюю длину микропобегов сортов ежевики этапа пролиферации, мм**

| Сорт, фактор А       |                  | Концентрация, мг/л; фактор В |      |      | Среднее по фактору А | Отклонение |
|----------------------|------------------|------------------------------|------|------|----------------------|------------|
|                      |                  | 0 (к)                        | 0,5  | 1,0  |                      |            |
| Лох Несс (st.)       |                  | 8,9                          | 16,3 | 11,1 | 12,1                 | –          |
| Апачи                |                  | 10,0                         | 18,0 | 12,0 | 13,3                 | 1,2        |
| Холс Бьюти           |                  | 8,1                          | 14,9 | 7,0  | 10,0                 | -2,1       |
| Среднее по фактору В |                  | 9,0                          | 16,4 | 10,0 | –                    |            |
| Отклонение           |                  | –                            | 7,4  | 1,0  |                      |            |
| НСР <sub>05</sub>    | частота различий |                              |      |      | 1,9                  |            |
|                      | по фактору А     |                              |      |      | 1,2                  |            |
|                      | по фактору В     |                              |      |      | 1,1                  |            |

При культивировании на среде по рецептуре Кворина Лепуавра с добавлением 1,0 мг/л 6-БАП наблюдалась витрификация побегов (40,2–54,6 %) в зависимости от роста. При добавлении 6-БАП в концентрации 1,0 мг/л во всех вариантах формировались плотные конгломераты из укороченных побегов, это связано с тем, что цитокинины (6-БАП) влияют на состав межклеточного вещества. Нарушение структуры пектинов приводит к потере механической связи между клетками и развитию водянистой текстуры тканей.

Современные исследования в области микроразмножения ежевики показывают, что этапы укоренения и адаптации являются критически важными для получения качественного посадочного материала. В ходе проведенных исследований было установлено, что использование среды Кворина-Лепуавра с добавлением 25 мг/л индол-3-масляная кислота (ИМК) обеспечивает эффективное корнеобразование уже через 25–30 дней культивирования. Эти данные согласуются с последними работами, подчеркивающими важность точного подбора концентраций ауксинов для индукции ризогенеза [9].

Процесс адаптации микрорастений к условиям *ex vitro* условиям требует особого внимания [6]. На данном этапе использовали субстрат на основе верхового торфа и растения высаживали в микропарники. Высокая влажность в микропарниках поддерживалась опрыскиванием растений водой два раза в сутки, полив проводился по мере необходимости. После двух–трехнедельной адаптации постепенно уменьшали влажность, проводили проветривание. В дальнейшем для дорастивания микрорастения пересаживали в стаканчики объемом 0,5 л для подращивания. С целью повышения адаптации нами проводилась

некорневая обработки микрорастений в микропарниках кремнийсодержащим микроудобрением «Силиплант» и регулятором роста «НВ-101» в дозировке 1,5 мл/л, в качестве контрольного варианта использовалась вода.

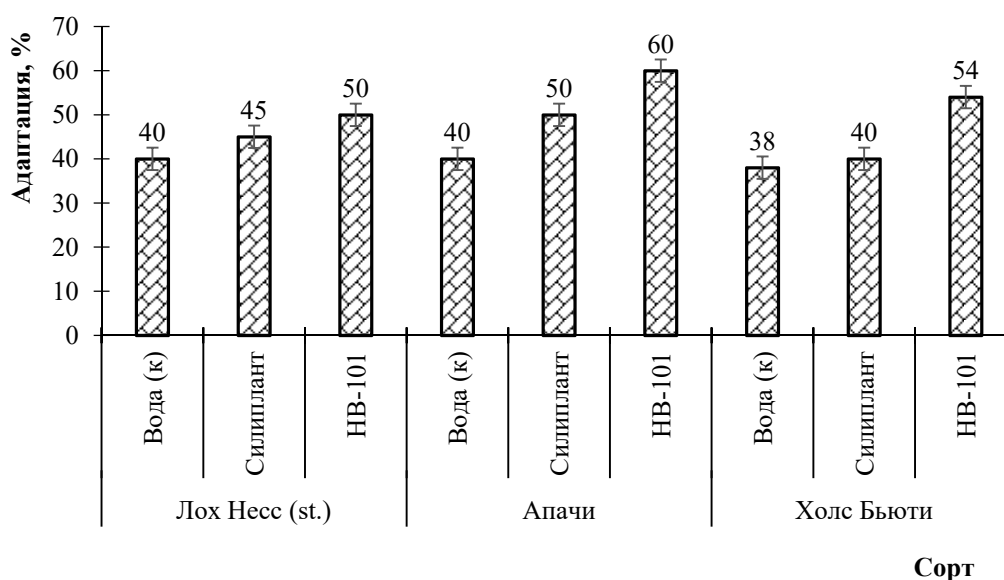
Обработка изучаемыми препаратами проводилась 1 раз в неделю на протяжении трёх недель. Через месяц, перед посадкой в теплицу провели морфометрический анализ, где выявили, что среднее количество корней в опыте по последствию препаратов на изучаемым сортам составило от 2,7 до 6,3 шт. (таблица 4).

**Таблица 4 – Влияние препаратов на среднее количество корней сортов ежевики этапа адаптации, мм**

| Сорт, фактор А       |                | Препарат, фактор В |           |        | Среднее по фактору А | Отклонение |
|----------------------|----------------|--------------------|-----------|--------|----------------------|------------|
|                      |                | Вода (к)           | Силиплант | НВ-101 |                      |            |
| Лох Несс (st.)       |                | 2,7                | 4,7       | 4,7    | 4,0                  | –          |
| Апачи                |                | 3,3                | 4,7       | 6,3    | 4,8                  | 0,8        |
| Холс Бьюти           |                | 2,0                | 3,7       | 4,0    | 3,2                  | -0,8       |
| Среднее по фактору В |                | 2,7                | 4,3       | 5,0    | –                    |            |
| Отклонение           |                | –                  | 1,7       | 2,3    |                      |            |
| НСР <sub>05</sub>    | част. различий |                    |           |        |                      | 0,6        |
|                      | по фактору А   |                    |           |        |                      | 0,1        |
|                      | по фактору В   |                    |           |        |                      | 0,3        |

По сорту Апачи отмечено существенное увеличение среднего количества корней на 0,8 шт. по сравнению с стандартным сортом. По сорту Холс Бьюти отмечено существенное снижение количества корней на 0,8 шт. (стандарт – 4,0 шт., НСР<sub>05</sub> – 0,1 шт.). При опрыскивании микрорастений препаратами Силиплант и НВ-101 наблюдается существенное увеличение количества корней на 1,7 и 2,3 шт. соответственно (контроль – 2,7 шт., НСР<sub>05</sub> – 0,3 шт.). При этом средняя длина корней составила от 1,9 см до 2,6 см.

В ходе проведённого опыта было установлено, что применение препаратов Силиплант и НВ-101 положительно влияет на процесс адаптации – выход адаптированных микрорастений сортов ежевики составил от 40 до 60 % (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Успешность адаптации микросаженцев сортов ежевики в зависимости от вида препарата, %**

Учитывая известные механизмы действия данных препаратов, можно предположить, что Силиплант, являясь источником доступного кремния, способствовал усилению структурной устойчивости клеточных стенок, повышению сопротивляемости

неблагоприятным факторам внешней среды и снижению оксидативного стресса. В свою очередь, НВ-101, содержащий комплекс регуляторов роста, вероятно, стимулировал деление и дифференцировку меристематических клеток, а также активировал процессы корнеобразования и ускорил установление функционально полноценной корневой системы, что является ключевым фактором успешной акклиматизации *in vitro*-регенерированных растений.

Закключение. При изучении биотехнологических особенностей размножения сортов ежевики получено, что наибольшая эффективность приживаемости эксплантов достигнута на питательной среде  $\frac{1}{2}$  QL. По сорту Апачи продемонстрировал лучшие показатели по всем параметрам: количество корней увеличилось на 0,8 шт., а их длина - на 0,1 см по сравнению с стандартным сортом. В то же время сорт Холс Бьюти показал обратную тенденцию, что подтверждает необходимость разработки сортоспецифичных протоколов. Применение изучаемых регуляторов НВ-101 и Силипланта позволило увеличить количество корней на 1,7–2,3 шт. с длиной от 1,9 до 2,6 см. Важно отметить, что успешность адаптации в целом составила 40–60 %. Полученные данные имеют важное практическое значение для коммерческого микроразмножения ежевики и могут быть использованы для оптимизации существующих протоколов.

#### Список литературы

1. Бутенко, Р. Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений / Р. Г. Бутенко. – Москва : Наука, 1964. – 272 с.
2. ГОСТ 54051–2010 Плодовые и ягодные культуры. Стерильные культуры и адаптированные микрорастения. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 11 с.
3. Оптимизация методов клонального микроразмножения садовых культур / С. А. Муратова, М. Б. Янковская, Н. В. Соловых [и др.] // Плодоводство и ягодоводство России. – 2011. – Т. 26. – С. 375–382.
4. Guan, W. Cytokinin optimization in berry crops / W. Guan // Plants. – 2021. – Vol.10(3). – P. 502.
5. Ivanova, M. Genotype-specific protocols for berry crops / M. Ivanova [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2022. – Vol. 304. – P. 111234.
6. Johnson, K. L. Acclimatization protocols for micropropagated plants / K. L. Johnson // In Vitro Cellular & Developmental Biology. – 2022. – Vol. 58(3). – P. 201-215.
7. Pérez-Jiménez, M. Improved sterilization protocols for Rubus spp. Micropropagation / M. Pérez-Jiménez [et al.] // Sci. Hortic. – 2023. – Vol. 308. – P. 111567
8. Reed, B. M. *In vitro* culture establishment from field-grown blackberry / B. M. Reed [et al.] // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2022. – Vol. 148. – P. 215-224
9. Smith, A. Auxin regulation in root development / A. Smith [et al.] // Plant Physiology. – 2023. – 192(1), 45-58.
10. Zhang, Y. Cytokinin optimization in Rubus micropropagation / Y. Zhang [et al.] // Plant Cell Reports. – 2023. – Vol. 42. – P. 1125-1138.

## ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ ХИТОЗАН-СЕРЕБРО С РАЗНОЙ СТРУКТУРОЙ И СООТНОШЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ТОМАТА И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Рыбинская Е. И.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: kate.rybinskaya@gmail.com

*Проведено изучение воздействия различных концентраций нанокмпозитов Хит-Аг 4 и Хит-Аг 5, различающихся химическим строением, на морфофизиологические параметры проростков томатов на 5 и 10 сутки. Результаты исследования подтверждают отсутствие ингибирующего эффекта на прорастание и рост проростков и свидетельствует о перспективности применения данных нанокмпозитов для обработки семян. Нанокмпозиты проявляют концентрационно-зависимый эффект, преимущественно стимулируя развитие корневой системы.*

Здоровье растений является ключевым фактором глобальной продовольственной безопасности и стабильности экосистем, однако постоянно подвергается угрозе со стороны патогенов, в частности вирусов, наносящих значительный экономический ущерб [1, 2]. Традиционные методы борьбы с вирусными заболеваниями, основанные на применении пестицидов против переносчиков, сталкиваются с проблемами резистентности и экологическими ограничениями [3], что обуславливает необходимость разработки и внедрения экологически безопасных и устойчивых стратегий защиты, направленных на усиление естественных защитных механизмов растений.

Один из подходов к повышению продуктивности и устойчивости растений (в т. ч. к вирусной инфекции) – применение элиситоров. Эти природные или синтетические вещества индуцируют в тканях защитные реакции, активируя механизмы устойчивости к стрессам и формируя длительный системный иммунитет.

Объект исследования – детерминантный ранний сорт томата (*Solanum lycopersicum*) белорусской селекции Липень.

Цель исследования – изучить влияние нанокмпозитов (НК) с разным соотношением компонентов и разной структурой на всхожесть семян томата и биометрические параметры у 5- и 10-дневных проростков.

Для обработки семян применяли соединения на основе хитозана с молекулярной массой 30 кДа, степенью деацетилирования 98,3 % и степенью полимеризации ~ 186, которые синтезировались на базе Института химии новых материалов НАН Беларуси, – нанокмпозиты хитозан-серебро. Было исследовано 2 образца нанокмпозитов с разным соотношением компонентов:

- 1) Нанокмпозит Хит-Аг 4 (НК Хит-Аг 4) с соотношением хитозан: Аг=1:100.
- 2) Нанокмпозит Хит-Аг 5 (НК Хит-Аг 5) с соотношением хитозан: Аг=1:10.

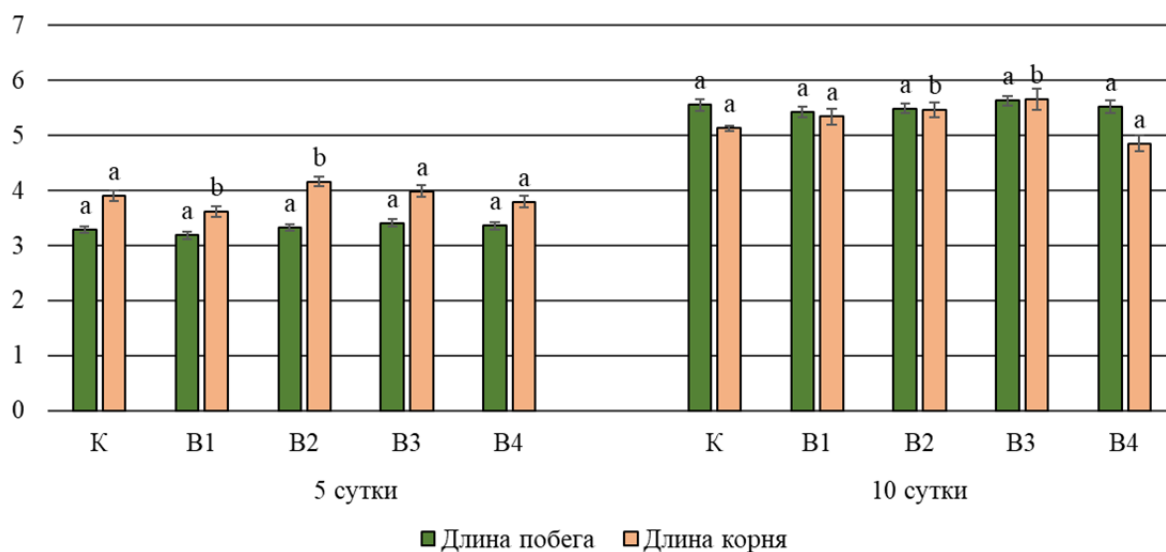
ПЭМ-анализ показал, что нанокмпозит Хит-Аг 4 образован монодисперсными наночастицами диаметром 5–10 нм, которые образуют сферические агрегаты размером около 150 нм. В отличие от него, Хит-Аг 5 имеет другую структуру: он состоит из отдельных частиц со структурой «ядро-оболочка». Здесь металлическое ядро Ag<sub>0</sub> (10–40 нм) окружено хитозановой оболочкой толщиной 20–25 нм [4].

Влияние нанокмпозитов в различных концентрациях оценивали по всхожести семян томата и биометрическим параметрам у 5- и 10-дневных проростков. Для этого семена замачивали в растворах нанокмпозитов с различными концентрациями хитозана и серебра, а затем проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной водой, в термостате. В контроле семена погружали в дистиллированную воду. На 5 и 10 сутки проводили оценку морфометрических параметров.

Проведенные исследования показали, что обработка семян томатов нанокompозитами Хит-Ag 4 и Хит-Ag 5 в исследуемых концентрациях не оказывала негативного влияния на их прорастание. Количество проросших семян в опытных вариантах статистически не отличалось от контроля, что свидетельствует об отсутствии фитотоксического эффекта применяемых нанокompозитов.

У 5-дневных проростков при обработке семян Хит-Ag 4 не отмечается достоверных различий в длине побега во всех вариантах. В это же время в варианте В1 (Схит=0,1 мг/мл, САг=0,001 мг/мл) отмечено снижение длины корней (рисунок 1) относительно контроля.

У 10-дневных проростков отмечено увеличение длины корней при обработке Хит-Ag 4 в вариантах В1 (Схит=0,1 мг/мл, САг=0,001 мг/мл), В2 (Схит=0,3 мг/мл, САг=0,003 мг/мл) и В3 (Схит=1 мг/мл, САг=0,01 мг/мл) (рисунок 1)



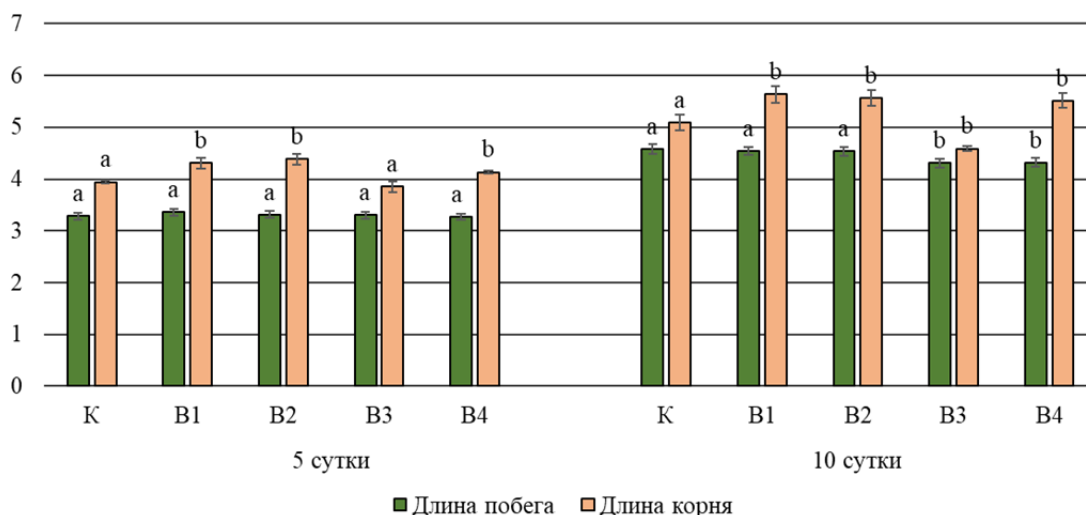
**Рисунок 1** – Длина побега и корней у 5-дневных и 10-дневных проростков томатов при обработке семян нанокompозитом Хит-Ag 4: К – необработанные семена, 1 (В1) – НК Хит-Ag 4 (Схит=0,1 мг/мл, САг=0,001 мг/мл), 2 (В2) – НК Хит-Ag 4 (Схит=0,3 мг/мл, САг=0,003 мг/мл), 3 (В3) – НК Хит-Ag 4 (Схит=0,5 мг/мл, САг=0,005 мг/мл), 4 (В4) – НК Хит-Ag 4 (Схит=1 мг/мл, САг=0,01 мг/мл)

В варианте В1 на 5 сутки происходит снижение длина корней, но к 10 суткам наблюдается увеличение данного показателя, что может свидетельствовать об адаптации растений после начального стресса. В варианте В2 происходит стабильное увеличение длины корней, что подтверждает его стимулирующее действие.

Обработка семян нанокompозитом Хит-Ag 5 оказала дифференцированное влияние на рост проростков томатов в зависимости от концентрации НК и сроков наблюдения (рисунок 2).

На 5-е сутки эксперимента в вариантах В1 (Схит=0,1 мг/мл, САг=0,01 мг/мл) и В2 (Схит=0,3 мг/мл, САг=0,03 мг/мл) зафиксировано увеличение длины корней по сравнению с контролем (рисунок 2), при этом статистически значимых различий по длине побегов между обработанными и контрольными растениями не выявлено.

К 10-м суткам в варианте В3 (Схит=0,5 мг/мл, САг=0,05 мг/мл) наблюдалось снижение длины как побегов, так и корней относительно контроля. В варианте В4 (Схит=1 мг/мл, САг=0,1 мг/мл) отмечено уменьшение длины побега при одновременном увеличении длины корня. В вариантах В1 (Схит=0,1 мг/мл, САг=0,01 мг/мл) и В2 (Схит=0,3 мг/мл, САг=0,03 мг/мл) выявлено увеличение длины корней без существенного влияния на рост побегов.



**Рисунок 2** – Длина побега и корней у 5-дневных и 10-дневных проростков томатов при обработке семян наноккомпозитом Хит-Ag 5: К – необработанные семена, 1 (B1) – НК Хит-Ag 5 (Схит=0,1 мг/мл, САg=0,01 мг/мл), 2 (B2) – НК Хит-Ag 5 (Схит=0,3 мг/мл, САg=0,03 мг/мл), 3 (B3) – НК Хит-Ag 5 (Схит=0,5 мг/мл, САg=0,05 мг/мл), 5 (B4) – НК Хит-Ag 4 (Схит=1 мг/мл, САg=0,1 мг/мл)

Вариант B1 (Схит=0,1 мг/мл, САg=0,01 мг/мл) демонстрирует способность стимулировать развитие корневой системы к 10-м суткам, не оказывая при этом негативного воздействия на побеги, что может оказать положительное влияние на улучшение приживаемости и дальнейшее развитие растений.

Разнонаправленное действие наноккомпозита может быть связано с различиями в биодоступности компонентов НК в зависимости от концентрации или со специфичностью органного ответа растения. Также полученные результаты могут свидетельствовать о возможной фитотоксичности наноккомпозитов при высоких концентрациях.

#### Список литературы:

1. Induced systemic resistance by beneficial microbes / C. M. J. Pieterse [et al.] // Annual review of phytopathology. – 2014. – Т. 52. – №. 1. – С. 347–375.
2. Cross-talk in viral defense signaling in plants / J. Y. Moon, J. M. Park // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Т. 7. – С. 2068.
3. Plant protection from virus: a review of different approaches / I. Anikina [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Т. 14. – С. 1163270.
4. Наночастицы серебра, стабилизированные оболочкой хитозана, - физико-химические свойства и особенности токсического действия *in vitro* / В. М. Василькевич, Р. В. Богданова, К. С. Гилевская [и др.] // Российские Нанотехнологии. – 2023. – Т. 18, №1. – С. 135–144.

## НАКОПЛЕНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В КЛЕТКАХ КОРНЕЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА

Сазоненко М. Д., Челядинский В. И., Чирская А. И., Герман А. Д.,  
Самохина В. В., Мацкевич В. С.

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: v.mackievic@gmail.com

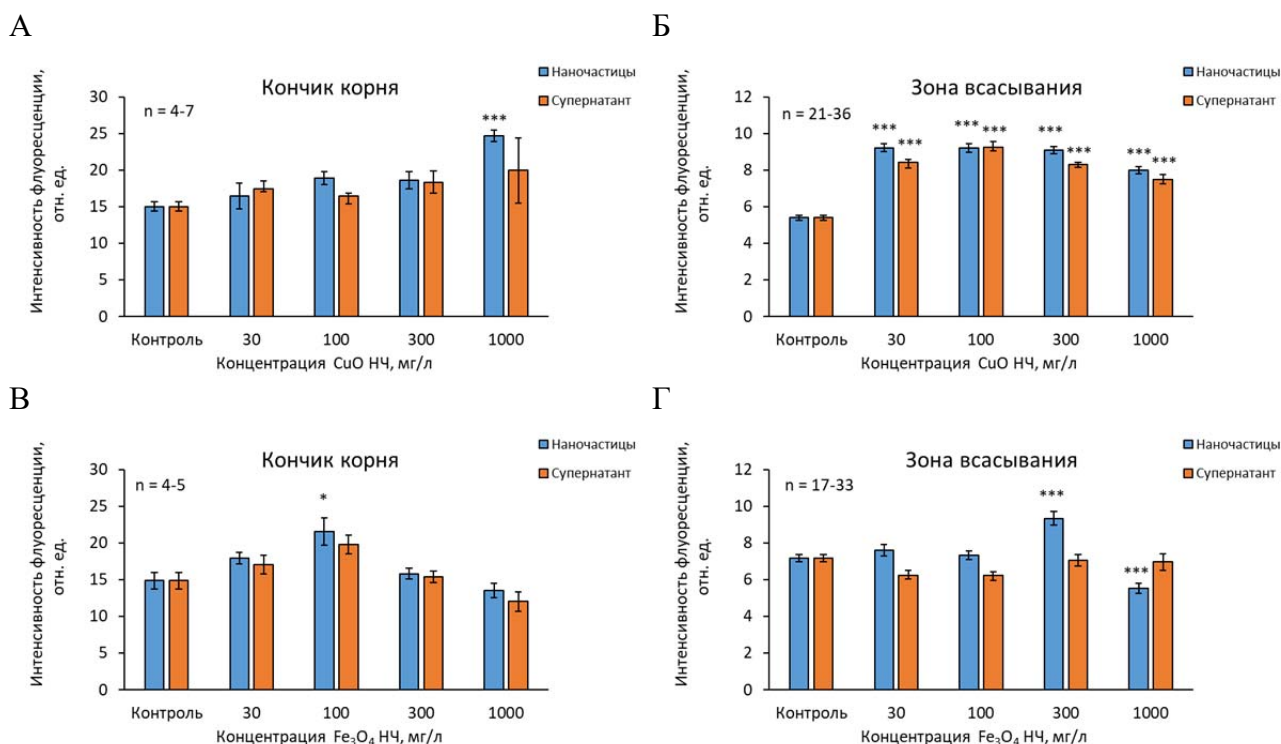
В работе с использованием метода эпифлуоресцентной микроскопии и зонда дигидроэтидий (ДГЭ) был охарактеризован эффект наночастиц (НЧ) оксидов меди и железа на накопление активных форм кислорода (АФК) в клетках корней модельного растения *Arabidopsis thaliana*. CuO НЧ вызывали дозозависимое увеличение флуоресценции ДГЭ, которое достигало максимума при концентрации 1000 мг/л – уровень АФК возрастал на 65 % и 48 % по сравнению с контролем в кончиках корней и в зоне всасывания соответственно. В случае увеличения концентрации  $Fe_3O_4$  НЧ уровень АФК сначала возрастал, а затем снижался. Максимальное увеличение интенсивности флуоресценции в кончиках корня регистрировалось при обработке 100 мг/л  $Fe_3O_4$  НЧ (на 45%), в зоне всасывания – при 300 мг/л  $Fe_3O_4$  НЧ (на 30 %).

**Введение.** В настоящее время нанотехнологии активно внедряются в различные сферы деятельности, включая медицину, фармацевтику, промышленность, сельское хозяйство и науку. В биологии растений наночастицы (НЧ) находят широкое применение в качестве наносенсоров, наноудобрений, антибактериальных и фунгицидных препаратов, средств доставки генетического материала и др. [1]. При этом особый интерес представляют металлосодержащие наночастицы (МНЧ) – структуры размером 1–100 нм, состоящие из металлических элементов или их соединений, например, оксидов [2]. Использование МНЧ в агротехнике открывает новые перспективы для повышения урожайности, стрессоустойчивости растений и улучшения их питания. Однако вместе с потенциальными преимуществами возникает вопрос о возможных негативных эффектах, таких как фитотоксичность, накопление металлов в тканях растений и последующее влияние на экосистемы. Изучение взаимодействия МНЧ с растениями необходимо для разработки безопасных и эффективных нанотехнологий в сельском хозяйстве. Целью настоящей работы являлся анализ изменений уровня активных форм кислорода в клетках корней *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. при воздействии НЧ оксидов меди и железа.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являлись проростки *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. экотипа Columbia-0 (Col-0). Растения выращивались в стерильной вертикальной культуре в чашках Петри на полной среде Мурасиге и Скуга, pH 6,0, 1% сахара, 0,35% Phytagel в контролируемых условиях 22°C, 16 ч свет/ 8 ч темнота. Обработка растений НЧ оксидов меди и железа (30-1000 мг/л) и их супернатантами проводилась на 7-е сут культивирования, в качестве контроля выступал буфер: 0,1 ммоль/л KCl, 0,1 ммоль/л  $CaCl_2$ , 1 ммоль/л ТРИС, 2 ммоль/л МЕС, pH 6,0. Уровень АФК в клетках корня регистрировался с использованием флуоресцентного зонда дигидроэтидий (ДГЭ, Sigma, США) [3]. Растения арабидопсиса помещались в раствор, содержащий НЧ и 20 мкмоль/л ДГЭ, и выдерживались 30 мин. После этого корни тщательно промывались в буфере в течение 10 мин и анализировались при помощи флуоресцентного микроскопа Nikon Eclipse TS100F с использованием стандартного фильтра FITC ( $\lambda_{ex}$  = 490 нм,  $\lambda_{em}$  = 540 нм). Интенсивность флуоресценции определялась при помощи приложения ImageJ.

**Результаты и их обсуждение.** Флуоресцентный зонд дигидроэтидий (ДГЭ) является одним из наиболее широко используемых инструментов для визуализации и количественного анализа АФК, особенно супероксидного анион-радикала ( $O_2^-$ ), в растительных клетках [3, 4]. При помощи ДГЭ можно выявить зоны генерации АФК, оценить интенсивность окислительного стресса и изучить влияние различных факторов: от абиотических стрессов, до действия наночастиц и регуляторов роста. В настоящей работе был протестирован

широкий диапазон концентраций НЧ  $\text{CuO}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (30, 100, 300, 1000 мг/л), а также супернатантов полученных путем центрифугирования соответствующих растворов НЧ при 7000 g в течение 1 мин. Результаты измерений представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Средние значения интенсивности флуоресценции дигидроэтидиума в кончиках корней и в зоне всасывания корней *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. при обработке растений растворами наночастиц  $\text{CuO}$  (А и Б) и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (В и Г). Контрольный раствор содержал 0,1 ммоль/л  $\text{KCl}$ , 0,1 ммоль/л  $\text{CaCl}_2$ , 1 ммоль/л Трис, 2 ммоль/л Мес (рН 6,0), в него вводились НЧ металлов ( $d = 50$  нм) совместно с 20 мкмоль/л дигидроэтидиума. Флуоресценция регистрировалась через 30 мин инкубации при помощи микроскопа Nikon Eclipse TS 100 в комбинации с фильтром FITC. Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи теста ANOVA: \* –  $p \leq 0,05$ , \*\*\* –  $p \leq 0,001$**

При обработке растений НЧ оксида меди было выявлено дозозависимое увеличение флуоресценции ДГЭ, что свидетельствует о накоплении супероксидных анионных радикалов в клетках корней арабидопсиса. В случае кончиков корней (рисунок 1 А) 30–300 мг/л  $\text{CuO}$  НЧ не оказывали значимых эффектов, в то время как максимальная концентрация  $\text{CuO}$  НЧ – 1000 мг/л – повышала уровень АФК на 65% по сравнению с контрольной группой растений. В случае зоны всасывания (рисунок 1 Б) достоверное возрастание флуоресценции ДГЭ наблюдалось при всех вариантах обработках НЧ, интенсивность флуоресценции была на 48–70% выше контроля. Полученные результаты согласуются с данными исследований, проводимых на других видах растений. Например, у эгерии густой окислительный стресс наблюдался при воздействии  $\text{CuO}$  НЧ при концентрациях 0,025–5 мг/л, у пшеницы — при 500 мг/кг, а у риса — при 100–1000 мг/л [2].

В случае  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ при увеличении концентрации НЧ уровень АФК в клетках корня сначала возрастал, а затем снижался. Максимальное увеличение интенсивности флуоресценции (на 45% по сравнению с контролем) в кончиках корня регистрировалось при обработке 100 мг/л  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ (рисунок 1 В). В зоне всасывания достоверное возрастание флуоресценции ДГЭ на 30 % наблюдалось при 300 мг/л  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ (рисунок 1 Г). Интересно отметить, что при более высокой концентрации 1000 мг/л  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ интенсивность флуоресценции снижалась на 23 % по сравнению с необработанными растениями. В литературе также описаны как прооксидантные, так и антиоксидантные эффекты НЧ оксидов железа. Так, обработка 1 г/л  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  НЧ вызывала образование АФК у ослинника двулетнего,

тогда как 2 г/л  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ оказывали протекторное действие на пшеницу, изменяя активности антиоксидантных ферментов и снижая перекисное окисление липидов [2].

При сравнительном анализе эффектов супернатанта и НЧ оксида меди достоверных различий выявлено не было. Характер воздействия супернатанта  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ на клетки корней в зоне деления также не отличался от воздействия НЧ. Различия наблюдались только в зоне всасывания при больших концентрациях  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ (300 и 1000 мг/л): при обработке супернатантом интенсивность флуоресценции ДГЭ была на уровне контроля, в то время как 300 мг/л НЧ увеличивала флуоресценцию, а 1000 мг/л НЧ снижала.

Таким образом, было показано, что  $\text{CuO}$  НЧ в концентрации 30–1000 мг/л стимулируют образование АФК в клетках корней *Arabidopsis thaliana*, при этом зона всасывания реагирует на более низкие концентрации, чем зона деления. В то же время поведение  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  НЧ в корневой системе оказалось более сложным и контрастирует с относительно однородным эффектом  $\text{CuO}$  НЧ. Это подчеркивает важность учета специфики корневых тканей и чистоты коллоидных сред (например, надосадочных жидкостей) при оценке фитотоксичности и адаптогенных свойств наночастиц металлов.

Работа была выполнена в рамках заданий ГПНИ № ГР 20211705 и № ГР 20241163, а также БРФФИ Б25М-044.

#### Список литературы

1. Joudeh, N. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: A comprehensive review for biologists / N. Joudeh, D. Linke // Journal of Nanobiotechnology. – 2022. – Vol. 20. – P. 262.
2. Венжик, Ю. В. Участие наночастиц металлов и их оксидов в регуляции про-/антиоксидантного баланса у высших растений / Ю. В. Венжик, А. Н. Дерябин // Физиология растений. – 2023. – Том 70. – С.133-147.
3. L-histidine makes  $\text{Ni}^{2+}$  'visible' for plant signalling systems: Shading the light on  $\text{Ni}^{2+}$ -induced  $\text{Ca}^{2+}$  and redox signalling in plants / V. Mackievic, Y. Li, P. Hryvusevich [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2025. – Vol. 220. – P. 109227.
4. Salt stress triggers generation of oxygen free radicals and DNA breaks in *Physcomitrella patens* protonema / S. Zvanarou, R. Vágnerová, V. Mackievic [et al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2020. – Vol. 180. – Art. 104236.

## ВОСПРИИМЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ РОДА *SOLANUM* К *CLAVIBACTER MICHIGANENSIS* С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ВИРУЛЕНТНОСТЬЮ И ОТБОР ГЕНОВ-КАНДИДАТОВ PR-БЕЛКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ РОЛИ В ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЯХ

Сидорченко Е. С., Иванов О. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: kittyan378@gmail.com

В исследовании изучена восприимчивость 8 сортов культурного томата *Solanum lycopersicum* и 2 диких видов рода *Solanum* к 6 штаммам *Clavibacter michiganensis*, вызывающего бактериальный рак. Методами биоинформатики отобраны 33 гена-кандидата из 6 групп PR-белков (PR-1, PR-2, PR-5, PR-6, PR-7, PR-12) с повышенной экспрессией при инфекции для дальнейшего анализа их роли в защитных реакциях томата

*Clavibacter michiganensis* (Cm) – патоген, вызывающий бактериальный рак томата. Симптомы системной инфекции включают вялость краев листьев с последующим увяданием листа, некротические области, продольные трещины на стебле, почернение сосудистых пучков на срезе стебля. В конце растение полностью увядает. Вирулентность и патогенность обуславливается наличием в хромосоме островка патогенности (PAI) *chp/tomA*, содержащего протеазы, гликозидазы, томатиназу, сериновые протеиназы *chpC* и *ppaA*, *ppaE*, *S1A*, и субтилазу *SbtA*, а также плазмиды *pCM1* и в меньшей степени *pCM2*, кодирующих факторы вирулентности – сериновые протеиназы [1].

PR-белки растений (pathogenesis-related proteins) – индуцибельные белки, накапливающиеся в растении при заражении и выполняющие защитные функции. Анализ протеома инфицированных *Clavibacter michiganensis* томатов показал изменение уровня экспрессии многих групп PR-белков, что свидетельствует об их роли в защитных реакциях [2].

В качестве объектов исследования использовались 8 сортов томата *Solanum lycopersicum* (*S. l.*) и два диких сорта *Solanum neorickii* и *Solanum chilense*, а также 6 штаммов Cm: *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (Cmm) БИМ В-357 (Венгрия), Cm БИМ В-1589 (РБ), Cm БИМ В-1590 (РБ), Cmm БИМ В-1591 (РБ), Cm БИМ В-1592 (РБ), Cm БИМ В-1593 (РБ). Штаммы *Clavibacter michiganensis* получены в Институте микробиологии НАН Беларуси. Все штаммы выделены из растений томатов различного происхождения.

В ходе заражения растений отрезали семядольный лист и наносили четырехсуточную культуру Cm на раневую поверхность. Растения находились в стадии 2–5 настоящих листьев. Эффекты Cm на растения оценивались визуально. Впервые визуальная оценка состояния инфицированных растений была проведена спустя 10 суток после заражения, затем, для оценки динамики осмотр повторили спустя 5 суток, и еще спустя 3 суток. Для оценки состояния инфицированных растений им были присвоены числовые значения: 0 – нет признаков инфекции; 1 – потеря одним или несколькими листьями тонуса, загибание краев листа; 2 – умеренное увядание одного или нескольких листьев; 3 – сильное увядание всего растения; 4 – гибель растения. После 21 дня наблюдений из тканей растений выборочно выделяли Cm на среду для подсчета колоний.

Биоинформатический анализ групп: PR-1 (САР-доменные белки), PR-2 ( $\beta$ -1,3-глюканазы), PR-5 (тауматин-подобные белки), PR-6 (ингибиторы протеиназ), PR-7 (эндопротеиназы, Р69 томата) и PR-12 (растительные дефензины) проводился следующим образом. На основе анализа доступного секвенированного и анонсированного генома томатов *S.l.* ITAG5.0 в базе данных Phytozome, а также последовательностей, представленных в базе данных MEROPS были получены последовательности транскриптов и аминокислотные последовательности белков данных групп. С помощью баз данных UniProt и InterPro были получены идентификаторы семейств и доменов данных групп PR. На сервере Expression atlas

были выбраны эксперименты, в которых *Solanum lycopersicum* инфицировали различными патогенами, и с помощью поиска по полученным ранее идентификаторам были выбраны гены с наиболее значимым повышением уровня экспрессии при заражении относительно контроля для каждой группы PR.

Результаты заражения растений рода *Solanum* представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Доля инфицированных растений рода *Solanum L.* с признакам в разрезе сортов/линий и штаммов бактерий *Clavibacter m.*

| Сорт/линия<br><i>Solanum</i> | Всего<br>растений | Есть признаки инфекции |      | Штамм<br><i>Clavibacter m.</i> | Всего<br>растений | Есть признаки инфекции |      |
|------------------------------|-------------------|------------------------|------|--------------------------------|-------------------|------------------------|------|
|                              |                   | абсолютная<br>величина | %    |                                |                   | абсолютная<br>величина | %    |
| <i>S. l.</i> Блэк бриллиант  | 30                | 21                     | 70,0 | 357                            | 80                | 55                     | 68,8 |
| <i>S. l.</i> Zafar           | 36                | 31                     | 86,1 | 1590                           | 84                | 52                     | 61,9 |
| <i>S. l.</i> Ирма            | 35                | 28                     | 80,0 | 1591                           | 83                | 73                     | 88,0 |
| <i>S. l.</i> Чирок           | 34                | 27                     | 79,4 | 1589                           | 30                | 28                     | 93,3 |
| <i>S. l.</i> Тамара          | 36                | 30                     | 83,3 | 1592                           | 27                | 24                     | 88,9 |
| <i>S. l.</i> Октябрята       | 18                | 17                     | 94,4 | 1593                           | 24                | 22                     | 91,7 |
| <i>S. l.</i> Cu-18           | 36                | 27                     | 75,0 |                                |                   |                        |      |
| <i>S. l.</i> Cu-9            | 36                | 22                     | 61,1 |                                |                   |                        |      |
| <i>S. chilense</i>           | 35                | 26                     | 74,3 |                                |                   |                        |      |
| <i>S. neorikii</i>           | 32                | 25                     | 78,1 |                                |                   |                        |      |

По результатам визуальной оценки, наименьший процент зараженных растений наблюдается среди сортов *Solanum L.* Cu-9 и Блэк бриллиант, а наиболее восприимчивым вариантом является сорт Октябрята. Наиболее вирулентны штаммы *Clavibacter michiganensis* 1589 и 1593, незначительно ниже уровень вирулентности у штаммов 1592 и 1591, а наименее вирулентны штаммы 357 и 1590.

Также оценивалась серьезность симптомов инфицированных растений. Ниже представлены результаты статистического анализа по сортам/линиям *Solanum L.* и штаммам *Clavibacter michiganensis*.

Таблица 2 – Средние значения симптомов бактериального рака томатов (в баллах) по сортам, линиям *Solanum* и по штаммам *Clavibacter michiganensis*

| Сорт/линия<br><i>Solanum</i> | <i>S. l.</i> Блэк бриллиант | <i>S. l.</i> Zafar | <i>S. l.</i> Ирма | <i>S. l.</i> Чирок | <i>S. l.</i> Тамара |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Среднее значение             | 1,07±1,05                   | 1,79 +/-1,05       | 1,99+/-1,32       | 1,93+/-1,35        | 1,86 +/-1,29        |
| Сорт/линия<br><i>Solanum</i> | <i>S. l.</i> Октябрята      | <i>S. l.</i> Cu-18 | <i>S. l.</i> Cu-9 | <i>S. chilense</i> | <i>S. neorikii</i>  |
| Среднее значение             | 3,39 +/-1,24                | 1,57+/-1,32        | 1,21+/-1,73       | 2,33 +/-1,73       | 1,97 +/-1,61        |

| Штамм Cm         | 357          | 1589         | 1590        | 1591        | 1592         | 1593         |
|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Среднее значение | 1,36 +/-1,29 | 2,83 +/-1,14 | 1,12+/-1,26 | 2,04+/-1,29 | 3,07 +/-1,36 | 2,67 +/-1,12 |

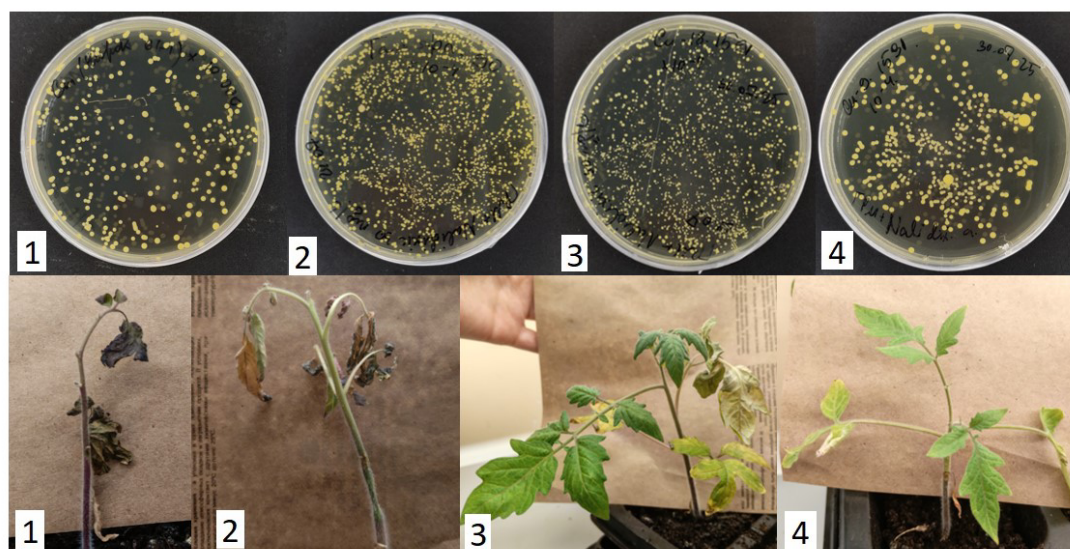
Различия в восприимчивости сортов и линий *Solanum* и вирулентности штаммов не являются достоверными, однако, по визуальной оценке, можно сделать вывод, что сорт Блэк бриллиант наиболее толерантен к *Clavibacter michiganensis*, вторым идет линия Cu-9. Наиболее восприимчивый сорт – Октябрята. Наиболее агрессивные штаммы *Clavibacter michiganensis* – 1589, 1593; у 1592 и 1591 процент заражения одинаковый, однако 1591 в период наблюдения вызывает менее серьезные симптомы.

Таблица 1 характеризует вирулентность *Clavibacter michiganensis*, таблица 2 – патогенность. Способность заражать растения, серьезность симптомов, а также титр бактерий в тканях растений не всегда строго пропорциональны. Наличие или отсутствие плазмиды pCM-2, а также определенных генов разрушает взаимосвязь между данными признаками [4].

Также были измерены титры бактерий штаммов 1590 и 1591 в тканях инфицированных растений. Результаты подсчета колоний представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Количество колоний штаммов 1590 и 1591 *Clavibacter michiganensis* в растениях разных сортов/линий *Solanum L.***

| Сорт/линия<br><i>Solanum</i>     | <i>S. l.</i><br>Cu-9 | <i>S. l.</i><br>Cu-18 | <i>S. chilense</i> | <i>S. l.</i><br>Чирок | <i>S. l.</i><br>Ирма | <i>S. l.</i><br>Тамара | <i>S. l.</i> Блэк<br>бриллиант |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|
| Штамм<br><i>Cl.m.</i>            | 1591                 |                       |                    |                       | 1590                 |                        |                                |
| Количество<br>колоний на<br>1 гр | $5,9 \times 10^7$    | $5,8 \times 10^7$     | $4,7 \times 10^7$  | $9,9 \times 10^6$     | $1,1 \times 10^6$    | $4,7 \times 10^7$      | $7,3 \times 10^5$              |



**Рисунок 1 – выделенный из томатов *Clavibacter m.* и симптомы заражения на разных сортах: 1 – Чирок, 1591, 2 – Тамара, 1590, 3 – Блэк бриллиант, 1590, 4 – Cu-9, 1591**

Из результатов видно, что титр и патогенность *Clavibacter michiganensis* не коррелируют.

С помощью баз данных Phytozome и MEROPS были собраны нуклеотидные последовательности PR белков *Solanum lycopersicum* шести групп, в сумме 183 последовательности. С помощью анализа экспрессии ресурса Expression Atlas количество последовательностей и генов PR было сокращено до 33, 5–6 генов на семейство PR. Для этих генов в дальнейшем будут сконструированы праймеры для ПЦР.

#### Список литературы

1. Oh, E. J. Comparative genome analyses of *Clavibacter michiganensis* type strain LMG7333T reveal distinct gene contents in plasmids from other *Clavibacter* species / E. J. Oh [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2022. – Vol. 12. – P. 793345.2.
2. Wang, Y. Advances in the characterization of the mechanism underlying bacterial canker development and tomato plant resistance / Y. Wang [et al.] // *Horticulturae*. – 2022. – Vol. 8. – №. 3. – P. 209.
3. Thapa, S. P. Genomic analysis of *Clavibacter michiganensis* reveals insight into virulence strategies and genetic diversity of a gram-positive bacterial pathogen / S. P. Thapa [et al.] // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. – 2017. – Vol. 30. – №. 10. – P. 786–802.

**ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА *PR1* В ТКАНЯХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ УСТОЙЧИВОГО И НЕУСТОЙЧИВОГО СОРТОВ ПРИ ЗАРАЖЕНИИ ФИТОФТОРОЙ И ДЕЙСТВИИ ЭКЗОГЕННЫХ МОДУЛЯТОРОВ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ**

Смирнов А. А., Кабачевская Е. М.

ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: aasm96@bk.ru

Проведено исследование экспрессии гена *PR1* в тканях листьев картофеля (*Solanum tuberosum* L.) высокоустойчивого к фитофторозу сорта Вектар и низкоустойчивого сорта Уладар в норме и при их заражении фитофторой. Охарактеризовано влияние модуляторов сигнальных путей (этефона, салициловой кислоты, эпина) на экспрессию гена при заражении картофеля фитофторой. Установлены общие и сортоспецифические особенности в динамике накопления транскриптов *PR1* при заражении патогеном и воздействии модуляторов.

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – одна из самых востребованных сельскохозяйственных культур в мире. Ежегодно инфекционные заболевания наносят ущерб его урожайности. Одним из наиболее вредоносных патогенов картофеля является хемибиотрофный оомицет фитофтора (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary). Высокоэффективной стратегией борьбы с фитопатогенами, в том числе фитофторой, является селекция высокоустойчивых сортов, а также создание эффективных средств борьбы с ними. Изучение фундаментальных механизмов формирования естественной устойчивости и протекания защитных реакций растений является необходимым этапом как для обнаружения перспективных селективных маркеров, ценных для выведения более устойчивых сортов, так и для создания биобезопасных средств защиты от фитопатогенов.

В рамках реализации реакций врожденного иммунитета растение развивает многокомпонентный защитный ответ, который включает в себя изменение и перепрограммирование экспрессии большого числа генов, изменение активности различных белков, в том числе, транскрипционных факторов, ферментов, катализирующих образование защитных соединений, и пр. Важную роль в формировании растительного иммунитета играют *PR*-гены (от англ. Pathogenesis Related) и кодируемые ими белки. *PR*-гены представляют собой особую группу генов, которые активируются в ответ на действие биотических и абиотических стрессовых факторов внешней среды. Их принято подразделять на 17 различных классов (*PR1* – *PR17*). Способ действия большинства *PR*-белков хорошо охарактеризован, за исключением класса *PR1* [3]. Важность *PR1*-белков в иммунной защите подтверждается тем фактом, что сверхэкспрессия *PR1* в растениях приводит к повышенной устойчивости к патогенам [3].

Для эффективной передачи сигналов о заражении и активизации ответных защитных реакций в растениях эволюционно сформировалась сложная сеть регуляторных путей, в обеспечении функционирования которой участвует большое количество других соединений, в том числе фитогормонов. Согласно современным представлениям, фитогормоны салициловая кислота и этилен играют ключевую роль в проведении сигналов о заражении растения патогеном. Кроме того, все большее внимание привлекает связь развития ответных реакций на патогенную атаку с брассиностероидами [2].

Целью настоящего исследования было изучение динамики относительной экспрессии гена *PR1* в тканях листьев картофеля устойчивого и неустойчивого к фитофторозу сорта при заражении фитофторой и действии модуляторов сигнальных путей (донора этилена этефона, салициловой кислоты, синтетического брассиностероида эпина).

Методы исследования. В качестве объектов исследования использовали растения картофеля *S. tuberosum* L. высокоустойчивого к фитофторозу листьев сорта Вектар и низкоустойчивого сорта Уладар белорусской селекции. Растения выращивались из клубней в

условиях грунтовой теплицы на базе РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». Для экспериментов использовали сложные листья картофеля (9 долей), отделяемые от растения на 6–8 неделе выращивания. Для оценки различий экспрессии гена *PR1* в тканях устойчивого и неустойчивого сорта использовали по 6 листьев каждого сорта на контрольный (незараженный) и опытный (зараженный) вариант эксперимента. Для оценки влияния экзогенных фитогормонов и их аналогов на экспрессию генов при заражении фитофторой также использовали по 6 сложных листьев, однако перед заражением листья инкубировали в растворах салициловой кислоты (5 мМ, Sigma-Aldrich, США), этефона (2 мМ, Sigma-Aldrich, США) или эпина (200 мкл/л, ОАО «Белреахим»). В данной серии экспериментов в качестве контроля использовали образцы тканей листьев, подвергшихся заражению, но не обработанные модуляторами сигнальных путей.

Листья помещали на стеклянные плашки, обернутые смоченной водой фильтровальной бумагой. Для заражения на каждую долю сложного листа наносилась капля раствора, содержащего конидии фитофторы [1]. Плашки с листьями инкубировались в условиях высокой влажности. Через 1, 2 и 3 суток после инокуляции патогена отбирались образцы листьев для выделения пула общей РНК. Все варианты анализировались в 3 биологических и 3–5 экспериментальных повторностях.

Гомогенизацию тканей и выделение общей РНК проводили с использованием реактива «Лира» (Биолабмикс, РФ) в соответствии с протоколом производителя. Содержание РНК в полученных препаратах и их чистоту оценивали спектрофотометрически. Синтез кДНК проводили с использованием реактивов производства Thermo Fisher Scientific, США. ПЦР в реальном времени проводили с использованием готовой смеси для ПЦР (Артбиотех, Беларусь) в соответствии с протоколом фирмы-производителя. Реакционная смесь для ПЦР содержала: смесь для ПЦР; УДГ – фермент урацил-ДНК-гликозилаза (СибЭнзайм, Россия), ген-специфические ДНК-праймеры (Genterra, Россия; Артбиотех, Беларусь) для гена *PR1* или гена-нормализатора *EF1*, кДНК-матрицу, воду для ПЦР. Расчет уровня относительной экспрессии гена *PR1* проводили с помощью специализированной программы REST (relative expression software tool), версия REST-MCS [1].

Результаты и их обсуждение. Анализ данных об экспрессии гена *PR1* в листьях высокоустойчивого и низкоустойчивого сортов выявил ее существенную активацию на уровне транскрипции в ответ на заражение фитофторой. Причем в неустойчивом сорте Уладар был отмечен даже более существенный рост уровня экспрессии *PR1* (в первые сутки – в 79,7 раз выше незараженного контроля, во вторые – в 100,6 раза, в третьи – в 9,4 раза), чем у сорта Вектар, для которого превышение экспрессии *PR1* в зараженных тканях относительно незараженных составило 16,8, 20,2, 3,4 раза в 1, 2 и 3 сутки после заражения, соответственно.

С целью выявления сортовых особенностей экспрессии *PR1* дополнительно был проведен сравнительный анализ экспрессии *PR1* в незараженных и зараженных тканях сорта Вектар относительно соответствующих значений для сорта Уладар. Было установлено, что в незараженных листьях картофеля высокоустойчивого сорта Вектар базальный уровень экспрессии *PR1* выше, чем у низкоустойчивого сорта Уладар, а именно, в первые, вторые и третьи сутки эксперимента в незараженных листьях сорта Вектар, выступающих контрольными для каждой временной точки при расчетах эффектов заражения, экспрессия была в 8,3, 2,0, 20,9 раза выше, чем в соответствующих образцах сорта Уладар. Аналогичное сравнение уровня экспрессии *PR1* в зараженных тканях сорта Вектар относительно соответствующих временных точек заражения сорта Уладар показало, что через 1 сутки после инфицирования количество транскриптов *PR1* в тканях высокоустойчивого сорта было в 1,75 раз выше, чем в сорте Уладар. Во 2 сутки заражения, в которые для Уладара наблюдался максимальный рост экспрессии *PR1* (в сравнении с незараженными тканями этого же сорта), уровень экспрессии *PR1* в Уладаре был на 60 % выше, чем в Вектаре. Но

уже к 3 суткам после заражения экспрессия *PR1* в Вектаре вновь превосходила таковую в Уладаре (в 7,5 раз).

Полученные данные указывают на то, что неустойчивый к фитофторозу листьев сорт Уладар, по сравнению с сортом Вектар, характеризовался более значительным индуцибельным (то есть, развивающимся в ответ на инфицирование) приращением уровня экспрессии *PR1*. В то же время высокоустойчивый сорт Вектар отличался более высоким базальным уровнем экспрессии данного гена, что, вероятно, позволяет ему более быстро и эффективно реагировать на заражение и не тратить ресурсы клеток на ускоренное интенсивное накопление транскриптов данного гена после патогенной атаки.

Анализ данных, полученных в результате оценки влияния салициловой кислоты, этефона и эпина на экспрессию гена *PR1* в тканях листьев сортов Вектар и Уладар позволил выявить следующие закономерности. Было установлено, что в первые и вторые сутки после инфицирования салициловая кислота и этефон оказывают стимулирующее действие на уровень относительной экспрессии *PR1* у сорта Вектар. При этом салициловая кислота оказывала более существенное влияние (повышение экспрессии *PR1* в 3,35 и 2,84 раза в первые и вторые сутки заражения относительно зараженных тканей сорта Вектар, не обработанных салициловой кислотой), чем этефон, для которого превышение относительно контроля составляло порядка 60% и 77% в 1 и 2 сутки после инфицирования. Эпин оказывал ингибирующее действие (в среднем на 70–90 % меньше контрольных значений) его предобработки во всех временных точках эксперимента.

В отношении неустойчивого сорта Уладар были отмечены следующие эффекты. В первую очередь, весьма контрастным относительно устойчивого сорта Вектар оказалось влияние салициловой кислоты на экспрессию *PR1*, которая в присутствии салициловой кислоты значительно снижалась во все 3 дня после заражения и составляла в 1 сутки – около 30% от контрольных значений, во 2, 3 сутки – менее 1 %. В отношении эпина было установлено преимущественно его подавляющее действие – только в первые сутки была зафиксирована тенденция к росту экспрессии *PR1* (примерно на 30 % по сравнению с контролем). Также выявлено весьма существенное влияние этефона – в 1 сутки после заражения и обработки модулятором количество транскриптов гена было более чем в 80 раз выше, чем в зараженных, но необработанных этефоном, листьях сорта Уладар. Повышенный, но в меньшей степени, уровень экспрессии этого гена был обнаружен и во 2 сутки (на 190 % выше контроля). К третьему дню эксперимента влияние всех модуляторов, включая этефон, становилось ингибирующим.

**Заключение.** Характер экспрессии гена *PR1*, продукт экспрессии которого является важным регуляторным элементом защитных ответов растений, в клетках листьев картофеля устойчивого и неустойчивого сорта сильно различается. В рамках проведенного исследования обнаружено, что в ответ на заражение фитофторой в листьях обоих сортов наблюдается рост экспрессии *PR1*, при этом устойчивый сорт характеризуется высоким уровнем базальной экспрессии исследованного гена, а неустойчивый сорт более яркой ее активизацией после заражения. Обработка листьев картофеля модуляторами сигнальных процессов растений вызывала неодинаковые эффекты в отношении экспрессии *PR1* в устойчивом и неустойчивом сорте. Этефон вызывал активацию экспрессии изучаемого гена различной степени интенсивности у неустойчивого и устойчивого сортов, в то время как эпин подавлял экспрессию в обоих сортах. Салициловая кислота оказывала активирующее действие на экспрессию *PR1* в сорте Вектар, но подавляла его экспрессию в сорте Уладар.

#### Список литературы

1. О механизмах формирования устойчивости картофеля к фитофторозу на различных этапах фенилпропаноидного метаболизма / А. А. Смирнов, Е. М. Кабачевская, С. В. Суховеева, И. Д. Волотовский // Ботаника (исследования). – 2024. – Выпуск 54. – С. 316–325.
2. Exploring the vital role of phytohormones and plant growth regulators in orchestrating plant immunity / A. Shafqat, S. Abbas, M. Ambreen [et al.] // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2024. – V. 133 – P. 102359.
3. The function of plant PR1 and other members of the CAP protein superfamily in plant-pathogen interactions / Z. Han, D. Xiong, R. Schreiber, C. Tian // Mol Plant Pathol. – 2023. – V. 24, № 6. – P. 651–668.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕПАРАТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ ГЕРБИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ, И ИХ БАКОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИСКОРЕНЕНИЯ *CONYZA CANADENSIS* L.

Фролова Т. В., Карасёва Е. Н.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: TatsianaFrolova@yandex.by, Ledymc\_net@mail.ru

В процессе проведенных исследований в условиях лабораторных и полевых опытов изучено влияние гербицидов Магнум, Граунд 540, Веник, Балерина и их баковые смеси на рост и развитие растений мелколепестничка канадского (*Conyza canadensis* L.).

Одним из широко распространенных инвазивных видов растений является мелколепестничек канадский (*Conyza canadensis* (L.) Crong., *Erigeron canadensis* L.) из семейства Астровые (*Asteraceae*). Североамериканский вид с космополитическим ареалом [1].

Вид относят к наиболее распространенным европейским чужеродным видам, где в большинстве стран отнесен к инвазивным видам - трансформерам. Обнаружен уже в 47 странах Европы, в 33 из которых полностью акклиматизировался.

В Беларуси, как хорошо натурализовавшееся, очень часто встречается по обочинам дорог, на железнодорожных насыпях, пустырях и мусорных местах, вблизи жилья, на полях, галечниках и песчаных отмелях, на выработанных торфяниках, вырубках, в карьерах, вдоль лесных дорог и тропинок.

Среди основных факторов, способствующих распространению вида в новые среды обитания и регионы: огромное количество мелких семян, разносимых ветром, генетическое разнообразие, эволюционная адаптация, аллелопатия, высокая устойчивость к болезням и гербицидам, ассоциация с микоризными грибами. Отмечается, что вид оказывает существенно более сильное воздействие на сопутствующие виды во вторичном ареале, чем в естественном. Активному расселению и захвату больших территорий этим видом способствуют его высокие репродуктивные качества и способность к самоопылению, хотя в основном преобладает перекрестное опыление. Плотность популяции в осенний период достигает 200 и более ювенильных растений на 1 м<sup>2</sup>. Это позволяет мелколепестничку канадскому практически в течение всей вегетации подавлять прорастание семян, рост и развитие других видов.

При проведении исследований было определено несколько направлений исследований:

- изучение влияния на растения мелколепестничка канадского гербицидов сплошного действия, обладающих продолжительной активностью;
- подбор глифосатсодержащих гербицидов, эффективных против однолетних и многолетних растений;
- выбор селективных гербицидов, позволяющих контролировать инвазивные виды, не повреждая другие виды растений;
- изучение влияния баковых смесей, используемых в опытах гербицидов для борьбы с мелколепестничком канадским.

Все гербициды применяли однократно на фазе розетки мелколепестничка канадского при высоте 10–15 см или после их скашивания и отрастания растений.

Схемы опытов включали различные варианты, среди которых основными были:

1. Контроль;
2. Магнум, ВДГ - 10 г/га;
3. Магнум, ВДГ – 50 г/га;
4. Граунд 540, ВР – 2 л/га;

5. Веник, ВДГ – 350 г/га;
6. Граунд 540, ВР (1 л/га) + Веник, ВДГ (200 г/га);
7. Граунд 540, ВР (1 л/га) + Магнум, ВДГ (25 г/га);
8. Веник, ВДГ (200 г/га) + Магнум, ВДГ (25 г/га);
9. Балерина, СЭ – 0,4 л/га;
10. Балерина, СЭ (0,2 л/га) + Граунд 540, ВР (1 л/га).

Повторность 3-кратная. Площадь делянки 1 м<sup>2</sup>. Все применяемые в опытах препараты внесены в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь». Расход рабочей жидкости составлял 400 л/га. Для оценки действия изучаемых препаратов на растения мелколепестничка канадского учитывали: количество растений до и после обработки в течение всего вегетационного периода (штук/м<sup>2</sup>).

Видимые признаки угнетения мелколепестничка канадского появляются через 5–7 дней, полная гибель наступает через 3–4 недели после обработки [2].

У обработанных растений сначала поражаются верхушки листьев, потом желтеет и через месяц после применения гербицидов усыхает все растение (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Внешний вид растений мелколепестничка канадского:  
слева - до обработки гербицидами, справа - через 3 недели после обработки**

Проведенные исследования показали высокую эффективность, включенных в схему опыта как отдельных гербицидов, так и их баковых смесей (за исключением гербицида Балерина, СЭ) по ингибированию роста и развития мелколепестничка канадского.

Наибольшая эффективность (до 100%) через месяц после обработки отмечается в вариантах с гербицидом на основе глифосата Граунд-540, ВР и его баковых смесей с другими гербицидами. Однако уже через 2,5 месяца после обработки, в варианте только с одним гербицидом Граунд-540, ВР наблюдаются новые массовые всходы мелколепестничка канадского, и его популяция вновь восстанавливается. Это связано с тем, что период защитного действия у гербицидов их группы глифосатов составляет против однолетних видов растений в основном 20–60 дней, иногда больше.

#### **Список литературы**

1. Инвазионный потенциал некоторых видов растений из рода Мелколепестник (*Coniza Less, Erigeron L.*) / В. Н. Прохоров, Е. Н. Карасёва, А. В. Бабков [и др.] // Ботаника (исследования). – 2022. – Т.51. – С.194–201.
2. Рекомендации по ограничению распространения и искоренению мелколепестничка канадского в урбанизированной городской среде / В. Н. Прохоров, Е. Н. Карасёва, А. В. Бабков, М. М. Сак, А. Н. Гриц, Т. В. Фролова; Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. – Минск: БЕЛНИИТ «ТРАНСТЕХНИКА», 2025. – 44 с.

## АМИЛОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПСИХРОФИЛЬНЫХ И ПСИХРОТОЛЕРАНТНЫХ МИКРОМИЦЕТОВ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

Цвирко Е. Д., Иванов О. А., Полянская С. Н.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: elenavasilevskaa19@gmail.com

В работе приводятся результаты изучения амилолитической активности микромицетов Восточной Антарктиды. Показано, что исследованные виды грибов обладают амилазной активностью, которая проявляется на 7-е сутки культивирования гриба, и постепенно снижается к 12 суткам, но не исчезает совсем. Уровень активности зависит от времени и температуры культивирования гриба. Полученные нами данные подтверждают перспективность продолжения исследований в данном направлении для поиска продуцентов различных ферментов, устойчивых к стрессовым факторам для биотехнологического применения.

Микромицеты Антарктиды вносят существенный вклад в рециркуляцию органического вещества на континенте, осуществляя катаболические превращения при помощи адаптированных к низким температурам, холодоактивных, ферментов [1]. Поскольку такие ферменты обладают более высокой каталитической активностью при температурах ниже 20°C, чем их мезофильные гомологи, они являются привлекательными кандидатами для промышленных процессов, требующих высокой ферментативной активности при низких температурах.

Некоторые адаптированные к холоду микроорганизмы продуцируют холодоактивные амилазы, которые эффективно функционируют при низких температурах с высокой скоростью катализа по сравнению с амилазами мезофилов или термофилов, которые проявляют небольшую активность или не проявляют никакой активности при низкой температуре. Эти амилазы приобрели ряд структурных особенностей, которые обеспечивают высокий уровень гибкости, особенно вокруг активного центра, что приводит к низкой энтальпии активации, низкому сродству к субстрату и высокой удельной активности при низких температурах. При этом максимальный уровень активности этих амилаз смещается в сторону более низких температур с сопутствующим снижением термостабильности [2].

В наших экспериментах было установлено, что секретируемой амилазной активностью обладают все исследованные виды микромицетов кроме *Rhizopus sp.* (рисунок 1). Для всех видов, кроме *Orbicula parietina* и штаммов *Penicillium sp.* 4 и *Penicillium sp.* 5, повышение температуры вело к увеличению амилолитической активности. У *O. parietina* максимальная активность амилаз наблюдалась при +20°C и редуцировалась при более высокой температуре. То же наблюдалось и у нескольких штаммов *Penicillium*.

Наиболее интересными с точки зрения потенциальных продуцентов амилаз оказались некоторые представители рода *Penicillium*, различные штаммы которых обладали высокой секреторной амилазной активностью во всем диапазоне температур начиная с +5°C с выходом на максимум активности при +20...+25 °C. Наличие значительной ферментативной активности при низких положительных температурах свидетельствует о психротолерантности этих штаммов и способности к синтезу холодоактивных амилаз. Эти штаммы могут в дальнейшем рассматриваться как объекты более пристального внимания для анализа их потенциала как продуцентов амилаз непосредственно, или в качестве источников генов, кодирующих холодоактивные амилазы.

Для большинства других проанализированных антарктических микромицетов можно сделать вывод о психротолерантном характере этих грибов в контексте их способности к продукции и секреции амилолитических ферментов.

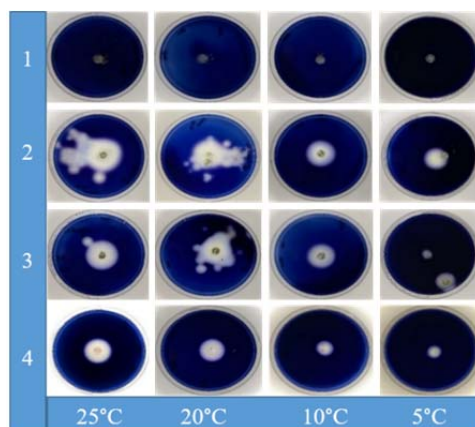


Рисунок 1 – Секреторная амилолитическая активность микромицетов, выделенных из различных субстратов Восточной Антарктиды. 1. *Rhizopus* sp., 2. *Penicillium* sp. 1; 3. *Penicillium chrysogenum*; 4. *Myrothecium verrucaria*, st. 1.

Для количественной оценки активности секретируемых амилаз и накопления амилаз в среде культивирования были отобраны активные штаммы микромицетов. Для получения культуральной жидкости, содержащей амилазы, применяли глубинное культивирование на жидкой среде Чапека с *Phialophora malorum* и *Pseudogymnoascus pannorum* в качестве продуцентов. После 22 суток культивирования при различных температурах в диапазоне от 5 до 25°C проводили оценку амилолитической активности в среде культивирования.

Как видно из табл. 1, наибольшей амилолитической активностью *Phialophora malorum* обладала при температуре культивирования 10°C. При этом секретируемые грибом амилазы также обладали наибольшей активностью при низких положительных температурах и сначала снижали, затем теряли активность при температурах выше 30°C, что является характерной особенностью холодоактивных амилаз.

Таблица 1 – Амилолитическая активность наиболее активных видов микромицетов, ЕА/мин.

| Вид                              | Температура культивирования | Температура инкубирования |                 |                 |                 |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                  |                             | 5 <sup>0</sup>            | 10 <sup>0</sup> | 20 <sup>0</sup> | 30 <sup>0</sup> | 45 <sup>0</sup> | 55 <sup>0</sup> |
| <i>Phialophora malorum</i>       | 5 <sup>0</sup>              | 0                         | 3,0             | 0               | 0               | 0               | -               |
|                                  | 10 <sup>0</sup>             | 0                         | 2,3             | 1,50            | 1,20            | 0               | -               |
|                                  | 20 <sup>0</sup>             | 1,50                      | 0               | 1,90            | 1,50            | 0               | -               |
|                                  | 25 <sup>0</sup>             | 0                         | 2,22            | 1,75            | 1,00            | 0               | -               |
| <i>Pseudogymnoascus pannorum</i> | 5 <sup>0</sup>              | 0                         | 3,00            | 1,40            | 3,00            | 0               | -               |
|                                  | 10 <sup>0</sup>             | 1,50                      | 4,00            | 2,50            | 0               | 0               | -               |
|                                  | 20 <sup>0</sup>             | 5,40                      | 7,00            | 9,00            | 11,5            | 13,4            | 5,30            |
|                                  | 25 <sup>0</sup>             | 1,80                      | 7,70            | 4,50            | 5,50            | 2,00            | 1,75            |

Исследованный штамм *Pseudogymnoascus pannorum* наиболее активно секретирует амилазы при температуре 20°C. Максимум активности ферментов наблюдался в диапазоне от 30 до 45°C и снижался при более высоких температурах (таблица 1). Обращает на себя внимание, что при температурах культивирования 5 и 10°C продуцируемая амилолитическая активность хоть и была ниже в сравнении с более высокими температурами культивирования, однако она терялась при инкубации ферментсодержащих растворов на относительно высоких температурах от 45°C. Можно предположить, что *P. pannorum* в

различных режимах культивирования продуцирует несколько различный состав амилаз, что требует дополнительного изучения.

Одной из задач исследования являлось также изучение динамики амилазной активности культуральной жидкости *наиболее активных* продуцентов амилаз среди всех изученных антарктических микромицетов при выращивании их в различных температурных условиях. Такие работы являются необходимым лабораторным этапом, позволяющим оценить некоторые биотехнологические особенности культивирования выбранных объектов, установить условия и сроки, наиболее оптимальные для отбора среды культивирования с целью ее дальнейшего концентрирования или очистки ферментов из нее.

Результаты свидетельствуют о том, что для антарктических микромицетов *Penicillium* sp. штаммы 3, 4, 5 и *Trichoderma viride* отмечена амилазная активность, которая возрастает с 5-х по 7-е сутки культивирования до 7 МЕ у всех исследуемых грибов на низких температурах, кроме *Penicillium* sp. штамм 5.

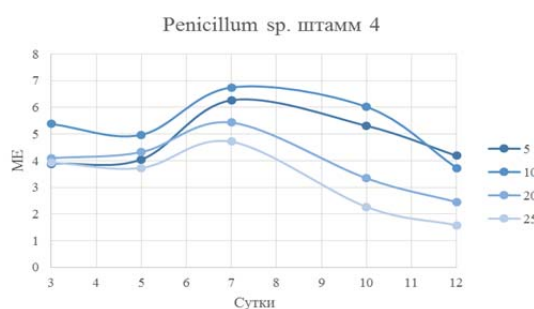


Рисунок 2 – Динамика амилазной активности антарктического микромицета *Penicillium* sp. штамм 4

С увеличением времени культивирования активность фермента имеет отрицательную тенденцию. Грибы, выращиваемые при температуре +5°C и +10°C проявляли большую амилазную активность. Следует также отметить, что при температуре культивирования +10°C отмечена максимальная активность фермента. Вероятно, это связано с тем, что для психрофильных грибов температура +10°C является оптимальной для протекания физиологических процессов в организме. Температура +25°C для психрофильных микромицетов является высокой, т. е. организм находится в стрессовых условиях. Возможно, по этой причине мы видим более низкую активность у антарктических видов грибов, которая имеет сходство с таковой в нормальных для них условиях.

Таким образом, все исследованные виды грибов обладают амилазной активностью, которая проявляется на 7-е сутки культивирования гриба, и постепенно снижается к 12 суткам, но не исчезает совсем. Уровень амилазной активности зависит от времени и температуры культивирования гриба. Полученные нами данные подтверждают перспективность продолжения исследований в данном направлении для поиска продуцентов различных ферментов, устойчивых к стрессовым факторам для биотехнологического применения.

#### Список литературы.

1. Identification and characterization of yeasts isolated from sedimentary rocks of Union Glacier at the Antarctica / S. Barahona [et al.] // Extremophiles. – 2016.
2. Structural adaptation and biocatalytic prospective of microbial cold-active  $\alpha$ -amylase / M. Kuddus [et al.] // Afr. J. Microbiol. Res. – 2012. – Vol. 6. – P. 206–213.

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Челядинский В. И., Галюта И. С., Герман А. Д., Гордых С. А., Чирская А. И., Козел А. В.,  
Самохина В. В., Мацкевич В. С.

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: v.mackievic@gmail.com

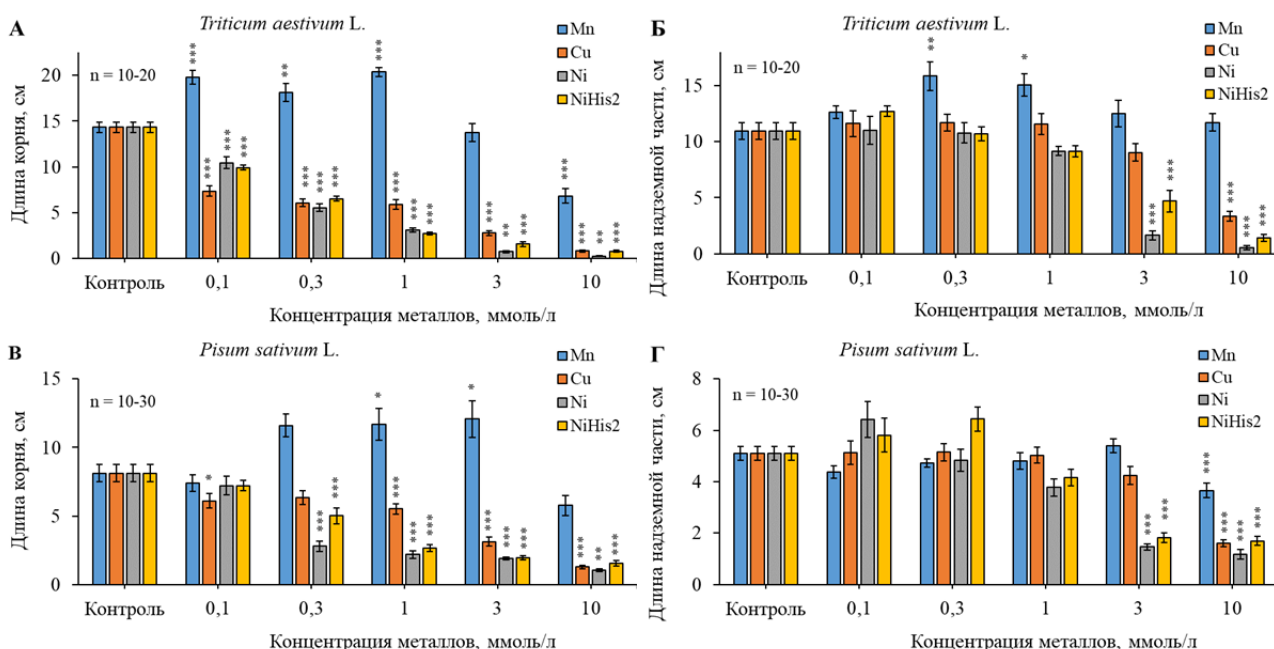
Тесты с сельскохозяйственными культурами показали, что ингибирование роста корней пшеницы начинается с концентрации 0,1 ммоль/л  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{NiHis}_2$ , гороха – с 0,3 ммоль/л. В то же время 0,1–1 ммоль/л  $\text{Mn}^{2+}$  оказывали стимулирующее действие, а достоверное ингибирование наблюдалось лишь при концентрации 10 ммоль/л. Введение в растворы ингибитора НАДФН-оксидаз (DPI) снижало ингибирующий эффект сублетальных и летальных доз тяжелых металлов, что указывает на важную роль данных ферментов в запуске поздних патофизиологических реакций, таких как запрограммированная клеточная гибель.

**Введение.** Одной из важнейших причин снижения продуктивности сельскохозяйственных растений и повреждения дикой флоры является загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами [1]. Более того, токсические металлы могут в больших количествах накапливаться в растениях и по пищевым цепям попадать в организм животных и человека. Несмотря на то, что проблема воздействия наиболее опасных тяжелых металлов, таких как кадмий, ртуть и свинец, в последние годы становится менее значительной ввиду ограничения их использования, влияние таких металлов как марганец, медь, никель, хром, кобальт и цинк остается актуальным вопросом, поскольку пока не представляется возможным уменьшить их использование в промышленности [1, 2]. Среди них марганец ( $\text{Mn}^{2-3+}$ ), медь ( $\text{Cu}^{1-2+}$ ), и никель ( $\text{Ni}^{2-3+}$ ) обладают наиболее выраженной редокс-активностью в биологических системах, и их токсичность связана главным образом со способностью отдавать или принимать электроны в широком диапазоне неферментативных и ферментативных редокс-превращений клетки [3]. Особенности проявления редокс-свойств данных металлов при развитии их токсичности в корне остается пока слабо изученной проблемой. Целью настоящей работы являлся анализ влияния марганца, меди и никеля на ростовые процессы важнейших сельскохозяйственных культур *Pisum sativum* L. и *Triticum aestivum* L.

**Материалы и методы.** В качестве объектов исследования использовались *Pisum sativum* L. и *Triticum aestivum* L. Проростки выращивались рулонным методом. Семена стерилизовались 10% NaClO на протяжении 10 мин, промывались под проточной водой и выкладывались на лист фильтровальной бумаги на расстоянии примерно 1 см от верхнего края, сверху накрывались еще одним листом, и все вместе скручивались в рулоны, которые помещались в стаканы с питательной средой, содержащей 10% стандартный набор солей Мурасиге и Скуга. В данную среду вводились тестируемые растворы  $\text{Mn}^{2+}$  ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Cu}^{2+}$  ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и Ni-гистидиновых комплексов ( $\text{NiHis}_2$ ), pH устанавливался на уровне 6,0. Для анализа вклада НАДФН-оксидаз в ростовой ответ на тяжелые металлы использовался специфический ингибитор дифенилениодоний (DPI) в концентрации 1 мкмоль/л. Растения культивировались в климат-камере с поддерживаемым освещением (16 ч свет, 8 ч темнота) и температурой (22 °C). На 10-е сут регистрировалась длина и масса корней и побегов. Биоинформатический анализ НАДФН-оксидаз проводился в приложении MEGA12. Аминокислотные последовательности были взяты с базы данных Ensembl (<https://ensembl.gencode.org/index.html>). Визуализация филогенетического дерева осуществлялась с помощью электронного ресурса iTOL 7 (<https://itol.embl.de>).

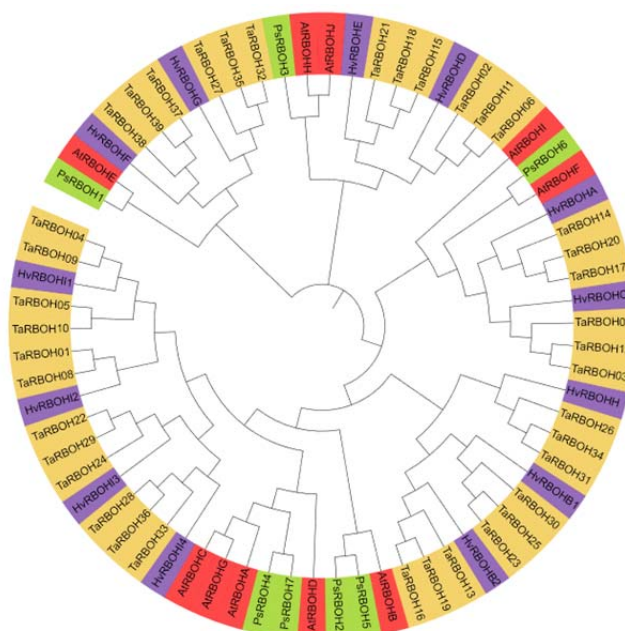
**Результаты и их обсуждение.** Рост корней пшеницы ингибировался, начиная с концентрации 0,1 ммоль/л в случае  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{NiHis}_2$ : длина корня снижалась соответственно на 49%, 27% и 31% по сравнению с контролем (рисунок 1 А). С увеличением концентрации до 10 ммоль/л рост корней практически полностью останавливался. В то же

время 0,1–1 ммоль/л  $Mn^{2+}$  оказывали стимулирующее действие, а достоверное ингибирование (на 45%) наблюдалось лишь при концентрации 10 ммоль/л  $Mn^{2+}$ . Надземная часть растений была менее чувствительна к обработке тяжелыми металлами, торможение роста (на 90–98 %) отмечалось при обработке 3–10 ммоль/л  $Ni^{2+}$  и  $NiHis_2$ , а также 10 ммоль/л  $Ni^{2+}$   $Cu^{2+}$  (рисунок 1 Б). Для  $Mn^{2+}$  ингибирующее действие не наблюдалось, в то время как 0,3–1 ммоль/л  $Mn^{2+}$  активировали рост проростков пшеницы. Схожие эффекты были продемонстрированы для гороха посевного (рисунок 1 В, Г).  $Mn^{2+}$  активировал рост корней, в то время как 0,1–10 ммоль/л  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $NiHis_2$  имели ингибирующее воздействие как на коневую систему, так и на надземную часть растений, однако данный эффект был менее выраженный по сравнению с пшеницей. Обработка тяжелыми металлами снижала накопление биомассы сельскохозяйственных культур. При этом никель обладал наибольшим отрицательным воздействием: 10 ммоль/л  $Ni^{2+}$  снижал массу корней пшеницы на 98% по сравнению с контролем, листьев – на 85%. Для гороха эти показатели составляли 87% и 80% соответственно. Следует отметить, что совместная обработка никелем и гистидином ( $NiHis_2$ ) была на 10–15% менее токсична по сравнению с  $Ni^{2+}$ .



**Рисунок 1 – Изменение длины корней и надземной части пшеницы (А, Б) и гороха (В, Г) на 10-е сут культивирования рулонным методом в среде, содержащей тяжелые металлы ( $X \pm Sx$ ). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи теста ANOVA: \* –  $p \leq 0,05$ , \*\* –  $p \leq 0,01$ , \*\*\* –  $p \leq 0,001$**

Введение в растворы 1 мкмоль/л DPI существенно не влияло на ростовой ответ гороха и пшеницы на субмиллимолярные уровни тяжелых металлов. Тем не менее, данная обработка снижала ингибирующий эффект, вызванный 10 ммоль/л  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $NiHis_2$ . Таким образом, НАДФН-оксидазы, вероятно, играют важную роль в запуске более поздних патофизиологических реакций, таких как запрограммированная клеточная гибель, что ранее отмечалось для модельного растения *Arabidopsis thaliana* L. [2]. Для проведения филогенетического анализа и установления эволюционных отношений внутри белкового семейства RВОН было построено филогенетическое дерево методом соединения соседей, с использованием выравнивания 68 белков из 4 видов высших растений (рисунок 2). В анализе участвовали 10 белков *Arabidopsis thaliana* L., 7 белков *Pisum sativum* L., 39 белков *Triticum aestivum* L. и 13 белков *Hordeum vulgare* L. Результаты показывают высокое сродство генов *Arabidopsis thaliana*, с генами гороха, а каждый RВОН ячменя имеет как минимум 2 гомолога со стороны пшеницы.



**Рисунок 2 – Филогенетический анализ RBOH-белков 4 видов высших растений: арабидопсиса (красный), гороха (зеленый), пшеницы (желтый) и ячменя (фиолетовый). Филогенетическое дерево построено методом присоединения соседей, а надежность построения проверена 1000 кратным повторением бутстреп теста**

Таким образом, среди протестированных тяжелых металлов наиболее токсичным для сельскохозяйственных культур оказался  $\text{Ni}^{2+}$ , наименее –  $\text{Mn}^{2+}$ . Проростки гороха обладают большей устойчивостью к повышенным уровням металлов в среде по сравнению с пшеницей. Добавление ингибиора НАДФН-оксидаз снижает ингибирующий эффект сублетальных и летальных доз тяжелых металлов, что указывает на важную роль данных ферментов в запуске поздних патофизиологических реакций, таких как запрограммированная клеточная гибель.

*Работа была выполнена в рамках задания ГПНИ № ГР 20241163, а также БРФФИ Б25М-044.*

#### Список литературы

1. Interactive zinc, iron, and copper-induced phytotoxicity in wheat roots / Y. Yang [et al.] // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2017. – Vol. 24, № 1. – P. 395–404.
2. L-histidine makes  $\text{Ni}^{2+}$  'visible' for plant signalling systems: Shading the light on  $\text{Ni}^{2+}$ -induced  $\text{Ca}^{2+}$  and redox signalling in plants / V. Mackievic [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2025. – Vol. 220. – Art. 109227.
3. Halliwell, H. Free Radicals in Biology and Medicine / H. Halliwell, J. M. C. Gutteridge. – United Kingdom: Oxford University Press, 2015. – 896 p.

## ЭФФЕКТ БРАССИНОСТЕРОИДОВ, ВВЕДЕННЫХ В КУЛЬТИВАЦИОННУЮ СРЕДУ, НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТАБОЛИЗМ ПРОТОКОРМОВ ОРХИДЕЙ *PHALAENOPSIS* SPP. BLUME В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

Черныш М. А.<sup>1</sup>, Ячник А. В.<sup>1</sup>, Жабинский В. Н.<sup>2</sup>, Хрипач В. А.<sup>2</sup>, Фролова Н. В.<sup>3</sup>,  
Фролов А. А.<sup>4</sup>, Демидчик В. В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: chernyshmaryia@gmail.com

<sup>2</sup>ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>4</sup>Институт биохимии растений им. Лейбница, Галле, Германия; Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская Федерация

<sup>5</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

*Введение в культивационную среду brassinosterоидов стимулировало ростовые процессы у протокормов Phalaenopsis × hybridum Blume в культуре in vitro. Наибольшей рост-стимулирующей активностью обладал 24-эпибрассинолид в концентрации 10<sup>-7</sup> М. Ауксины, введенные в среду выращивания, также вызвали стимуляцию роста протокормов, но менее сильную. Совместное введение brassinosterоидов и ауксинов влияло антагонистически на вызываемые ими рост-стимулирующие эффекты. Экзогенные brassinosterоиды практически не изменяли метаболитный профиль протокормов, стимулируя лишь накопление сорбитола.*

Одним из методов контроля процессов роста и развития растений в условиях *in vitro* является введение в среду фитогормонов различной химической природы. В большинстве случаев для этих целей используются ауксины и цитокинины [1]. В последнее время появились работы, указывающие на возможность применения в качестве регуляторов роста и других фитогормонов, таких как brassinosterоиды (БС) [2, 3]. По ряду физиологических эффектов БС схожи с ауксинами. Они ускоряют или замедляют ростовые процессы, участвуют в дифференцировке проводящих тканей, цветении и плодоношении. Тем не менее, кроме свойств, схожих с ауксинами, БС обладают и рядом уникальных характеристик. Показано, что экзогенная обработка умеренными дозами БС повышает устойчивость растений к стрессовым воздействиям, таким как засуха, засоление, воздействие тяжелых металлов и патогенных организмов [4], что, вероятно, происходит вследствие воздействия на специфические белки-мишени и факторы транскрипции, контролирующие иммунитет растений и пути биосинтеза стрессовых гормонов и регуляторных молекул, таких как активные формы кислорода. Возможность применения данных фитогормонов для управления ростовыми процессами в условиях *in vitro* весьма привлекательна, так как они проявляют биологическую активность в исключительно низких концентрациях. Однако, она исследована недостаточно.

Орхидные (*Orchidaceae*) – крупнейшее семейство покрытосеменных растений, насчитывающее более 30000 видов [5], которое остается практически неизученным в плане воздействия БС даже для таких коммерчески важных родов, как *Phalaenopsis*, *Dendrobium*, *Cambria* и *Cattleya*. В настоящей работе предпринята попытка восполнить данный пробел знаний.

Ответ растения на БС может включать изменения в экспрессии генов и белков, что потенциально может привести к изменению метаболического профиля [7]. Однако на сегодняшний день неясно, как метаболический профиль орхидей меняется при обработке БС и другими фитогормонами. Следует также отметить, что большинство исследований влияния фитогормонов на метаболизм растений анализировало только кратковременные эффекты – до 24 часов после обработки [8], в то же время интересны как раз долговременные эффекты фитогормонов, обладающие продолжительным влиянием на физиологию растений.

Целью настоящей работы было изучение особенностей воздействия шести основных БС, включая брассинолид, кастастерон, 24-эпикастастерон, 28-гомокастастерон, 24-

эпибрассинолид и 28-гомобрассинолид на рост протокормов *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume в культуре *in vitro*, а также анализ модификации метаболомного профиля *Phalaenopsis* под действием 24-эпибрассинолида и 24-эпикастастерона.

В качестве объекта исследования в настоящей работе выступала асептическая культура протокормов *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume. Протокормы – уникальные по анатомии и физиологии структуры орхидных, которые развиваются непосредственно из прорастающих семян [5]. Культура протокормов *Phalaenopsis* была получена из семян (из цельных нераскрывшихся коробочек). Данный метод позволяет использовать более опасные стерилизующие вещества, поскольку семена не подвергаются прямому воздействию химикатов, что значительно облегчило введение растений в культуру [6]. Стерилизация коробочек *Phalaenopsis* осуществлялась посредством трехкратной обработки 96% этанолом с последующим обжигом в пламени спиртовки. После стерилизации коробочки раскрывались стерильным скальпелем, и семена засевались на поверхность питательной среды. Для проращивания семян и дальнейших экспериментов использовалась агаризованная среда Fast, дополненная 1,2% сахарозы, 0,8% фруктозы, 0,9% агара, 0,2% дрожжевого экстракта, 0,2% пептона, 0,2% активированного угля, 1% мезоинозита, 1% гумата калия (pH=5,5). До момента образования протокормов, семена в течение 1 месяца культивировались в темноте. Протокормы, полученные из первичной культуры, переносились на среды, содержащие различные БС: брассинолид, кастастерон, 24-эпикастастерон, 28-гомокастастерон, 24-эпибрассинолид и 28-гомобрассинолид в диапазоне концентраций  $10^{-10}$  –  $10^{-6}$  М и ауксины: индолил-3-уксусную кислоту, индолил-3-масляную кислоту, 1-нафтилуксусную кислоту и 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту в концентрациях 0,1, 0,3 и 1 мг/л. На 100 сут после переноса на среды с тестируемыми гормонами анализировалось изменение ростовых параметров протокормов.

Введение в среду БС во всем диапазоне протестированных концентраций ( $10^{-10}$  –  $10^{-6}$  М) вызывало значительное усиление ростовых процессов, что выражалось в увеличении длины и приросте биомассы орхидей. Наибольший стимулирующий эффект на длину растений наблюдался при добавлении в среду брассинолида (рисунок, панель А). При концентрации брассинолида  $10^{-7}$  М наблюдалось двукратное увеличение длины протокормов по сравнению с контрольными образцами. Схожее влияние брассинолид оказывал и на массу растений.

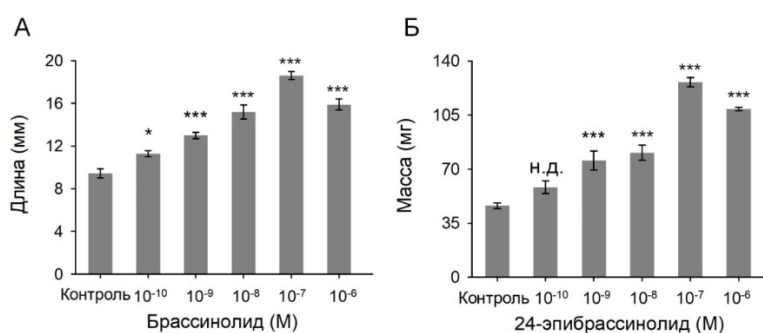


Рисунок – Эффект  $10^{-10}$  –  $10^{-6}$  М брассиностероидов на ростовые параметры микрорастений *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume: А – длина растений, сформировавшихся из протокормов на 100 сут культивирования на среде с брассинолидом; Б – масса растений на 100 сут выращивания на среде с 24-эпибрассинолидом ( $\bar{X} \pm Sx$ ;  $n = 10$ ). Статистические параметры: \*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,0001$  (t-критерий Стьюдента)

Наибольшим стимулирующим эффектом на прирост биомассы обладал 24-эпибрассинолид (рисунок, панель Б). При концентрации  $10^{-7}$  М данного фитогормона в среде масса растения увеличивалась в 2,7 раза по сравнению с контролем. Кастастерон и 24-эпикастастерон также демонстрировали высокую эффективность как стимуляторы роста. 28-гомокастастерон и 28-гомобрассинолид вызвали наименьшую стимуляцию роста по сравнению с другими исследуемыми БС.

Сравнение эффектов БС и ауксинов показало, что БС оказывают более сильное стимулирующее воздействие на рост культуры протокормов *Phalaenopsis in vitro*, чем ауксины. Так, при внесении в среду культивирования 1 мг/л (~5 мкМ) 1-нафтилуксусной кислоты наблюдалось максимальное для ауксинов 2-кратное увеличение биомассы протокормов и прирост их длины лишь на 60 % по сравнению с контрольными образцами. При сочетанном воздействии БС и ауксинов было выявлено подавление стимулирующего эффекта, наблюдаемого при введении фитогормонов по отдельности.

Изучение влияния БС на метаболизм орхидей было проведено на протокормах *Phalaenopsis*, культивируемых на среде содержащей  $10^{-8}$  М 24-эпибрасинолида и 24-эпикастастерона, а также 5 мкМ 1-нафтилуксусной кислоты в течение 5 и 10 сут. Первичные термостабильные метаболиты были экстрагированы методом водно-метанольной экстракции с последовательной дериватизацией О-метилгидроксиламин-гидрохлоридом и N-метил-N-(триметилсилил)-трифторацетамидом. При помощи газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС; GCMS-QP2010 Ultra, SHIMADZU, Япония) в протокормах было выявлено в общей сложности 123 первичных метаболита. Поскольку некоторые вещества представлены более чем одним пиком с разным числом дериватизированных групп, количество обнаруженных уникальных метаболитов составило 94, 81 из которых был идентифицирован (как минимум до класса соединения): 23 аминокислоты, 12 органических кислот, 25 углеводов, 4 жирные кислоты, 4 амина и амида, а также ряд других соединений; 24 соединения идентифицировать не удалось. Идентификация основывалась на ко-элюировании аналитов с аутентичными стандартами и сравнении масс-спектров, tR и RI со стандартными веществами из имеющихся масс-спектральных библиотек: NIST (National Institute of Standards and Technology), GMD (Golm Metabolome Database), ASL (authentic standard library).

С помощью программного обеспечения Metaboanalyst 6.0 была проанализирована полученная матрица первичных метаболитов протокормов *Phalaenopsis*. Влияние фитогормонов на метаболизм протокормов *Phalaenopsis* после 5 и 10 сут культивирования изучалось с помощью анализа главных компонент (PCA), который, однако, не выявил четкого разделения по обоим главным компонентам. Это наблюдение было подтверждено результатами анализа иерархической кластеризации, которые также не показали каких-либо фитогормон-специфических кластеров. Однако было выявлено значительное изменение уровня ряда органических соединений в протокормах *Phalaenopsis* при культивировании на фитогормон-содержащих средах. Так, было зафиксировано увеличение уровня D-сорбитола более чем в 20 раз при культивировании на БС-содержащих средах.

Таким образом, в настоящей работе было показано, что введение БС ( $10^{-10}$ – $10^{-6}$  М) в среду культивирования вызывало стимуляцию ростовых процессов у протокормов *Phalaenopsis* × *hybridum* Blume. БС не вызывали изменения метаболического профиля у протокормов *Phalaenopsis*, за исключением стимуляции накопления сорбитола.

#### Список литературы

1. Pierik R.L.M. *In vitro* culture of higher plants / Springer Science + Business Media, B.V., 1997. – 348 p.
2. Khripach, V.A. Brassinosteroids: a new class of plant hormones / V.A. Khripach, V.N. Zhabin-skii, A.E. de Groot // Academic Press: San Diego, USA, 1999. – P. 456.
3. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development / D. Steven [et al.] // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1998. – Vol. 49. – P. 427-451.
4. Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses / T.M. Nolan [et al.] // Plant Cell. – 2020. – Vol. 32. – P. 295-318.
5. Yeung, E.C. A perspective on orchid seed and protocorm development / E.C. Yeung // Bot. Stud. – 2017. – Vol. 58. – P. 33.
6. Clonal propagation of orchids / D. Jones [et al.] // Methods Mol. Biol. – 1990. – Vol. 6. – P. 181-191.
7. Metabolomic profiling of brassinolide and abscisic acid in response to high-temperature stress / J. Lv, [et al.] // Plant Cell Rep. – 2022. – Vol. 41, № 4. – P. 935-946.
8. The dynamic response of the *Arabidopsis* root metabolome to auxin and ethylene is not predicted by changes in the transcriptome / S.B. Hildreth [et al.] // Sci. Rep. – 2020. – Vol. 10. – № 1. – P. 679.

## НАКОПЛЕНИЕ ГЛИЦИНБЕТАИНА В ХВОЕ ЕЛИ И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

Шевцов Н. А., Иванов О. А., Полянская С. Н.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: sektor.metabolizma@mail.ru

*В условиях смоделированной засухи разной интенсивности в исследовании установлено накопление глицинбетаина в хвое сеянцев ели и сосны обыкновенной. У ели высокое содержание глицинбетаина при сильном водном дефиците коррелировало с видимыми повреждениями растений, тогда как у сосны концентрация этого вещества не показала статистически значимой связи с фенотипической устойчивостью к засухе. Результаты демонстрируют видовые различия в механизмах осмотической защиты хвойных пород.*

Изменение климата и нехватка осадков являются главной угрозой для лесных экосистем. Стресс, вызванный недостатком воды, оказывает разрушительное воздействие на рост, развитие и продуктивность растений и деревьев. В связи с этим, поиск эффективных стратегий для повышения устойчивости растений к засухе является главной задачей. Одним из перспективных подходов является изучение и применение глицинбетаина (ГБ), природного осмопротектора, поддерживающего внутриклеточное давление в условиях осмотического стресса, вызванного водным дефицитом.

Глицинбетаин – четвертичная аммониевая соль, широко распространённая в растениях, особенно в тех, которые адаптированы к солёным и засушливым условиям. ГБ выполняет роль осмолита, накапливаясь в цитоплазме клеток, где удерживает тургор, защищает белки и мембраны от повреждения и способствует стабилизации ферментов. Он также обладает антиоксидантными свойствами, вызванными образованием АФК, которые неизбежно возникают в условиях водного дефицита. ГБ влияет и на экспрессию генов, связанных с адаптацией к стрессу, увеличивая их синтез для защитных соединений, которые впоследствии улучшают фотосинтез, поддерживая доступность углеводов для роста растений [1].

Хвойные деревья, играющие ключевую роль в формировании экосистем, особенно уязвимы к негативным последствиям водного стресса. *Picea abies* и *Pinus sylvestris* – два широко распространенных рода хвойных деревьев, чьи ответы на дефицит влаги имеют решающее значение для понимания устойчивости хвойных лесов к засухе. Изучение биохимических изменений в хвое этих видов представляет собой ключевой аспект оценки их адаптационных механизмов и разработки стратегий по смягчению негативных последствий засухи [2].

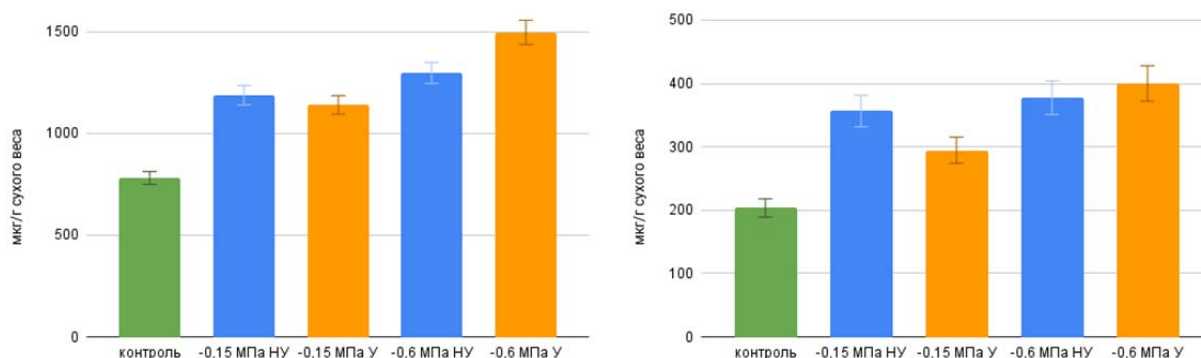
Для моделирования условий засухи и оценки её влияния на состояние сеянцев сосны и ели использовали сеянцы в кассетах, полученные из питомника Логойского лесхоза, (объем ячейки в кассете – 200 см<sup>3</sup>, субстрат – верховой торф pH 4,5). Эксперимент делился на контрольный и два опытных варианта, где контрольный вариант – оптимальные условия увлажнения на протяжении эксперимента, опытные варианты: А) сеянцы, выращиваемые 2 месяца в оптимальных условиях увлажнения (на уровне контроля), а затем в условиях полива на протяжении 3 недель водным раствором полиэтиленгликоля 6000 (ПЭГ), создающим отрицательный осмотический потенциал -0,15 Мпа; Б) сеянцы, выращиваемые 2 месяца в оптимальных условиях увлажнения, а затем в условиях полива на протяжении 3 недель водным раствором ПЭГ, создающим отрицательный осмотический потенциал -0,6 Мпа. Применение растворов ПЭГ в течение 3-х недель позволяло вытеснять воду с нормальным осмотическим потенциалом из корнеобитаемой среды, заменяя её почвенным раствором с регулируемой степенью доступности для корневого всасывания. Выращивание сеянцев

осуществлялось при температуре +24°C, относительной влажности воздуха 65–80 %. Световой период – 16 часов. Интенсивность светового потока – 5000 люкс.

В ходе лабораторного эксперимента, моделирующего почвенную засуху различной интенсивности с использованием ПЭГ, были изучены ответные реакции семян ели и сосны обыкновенной в части накопления осмопротектора глицинбетаина. Основная роль глицинбетаина заключается в поддержании осмотического равновесия внутри клеток за счет притока воды и участия в регуляции сигнальных каскадов.

При формировании отрицательного водного потенциала почвы на уровне -0.15 МПа наблюдалось достоверное увеличение концентрации глицинбетаина в хвое семян ели, так и сосны по сравнению с контролем (растениями без засухи). Это повышение отмечалось как у семян, не проявлявших видимых признаков повреждения (НУ – не увядшие), так и у семян с признаками повреждения (У – увядшие)). Однако видоспецифические различия были очевидны: у семян ели концентрации глицинбетаина при данном уровне стресса были статистически сопоставимы у растений с признаками повреждения и без них; у семян сосны, напротив, при -0.15 МПа наблюдалась выраженная разница: у более восприимчивых растений накопление глицинбетаина происходило значительно интенсивнее, чем у менее повреждённых.

При переходе к сильному стрессу (-0.6 МПа) увядшие семена ели накапливали глицинбетаин при сильной засухе, что может быть скорее индикатором стрессового повреждения и недостаточности защитных механизмов, чем маркером устойчивости. Возможно, повреждённые растения испытывают более сильный водный дефицит на клеточном уровне, что и стимулирует повышенный синтез осмолита. У сосны накопление глицинбетаина в условиях засухи происходило, но не было выявлено статистически значимой связи между его концентрацией в хвое и визуальными признаками повреждения растений (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Концентрация глицинбетаина в хвое семян ели (слева) и сосны (справа) в условиях смоделированной почвенной засухи различной интенсивности через 2 недели (-0,3 Мпа) и 3 недели (-0,6 Мпа) после начала эксперимента**

НУ – без фенотипических признаков повреждения, У – наличие признаков повреждения.

При умеренном стрессе увядшие растения накапливали его даже больше, чем не увядшие, но при сильном стрессе различия исчезали. Это указывает на то, что способность к накоплению глицинбетаина не является определяющим фактором фенотипической устойчивости семян сосны к исследуемым режимам засухи в данном эксперименте. Устойчивость сосны, вероятно, в большей степени зависит от других механизмов адаптации, таких как эффективность корневой системы, регулирование устьичной проводимости, накопление иных осмопротекторов (например, пролина) или структурные особенности хвои.

Исследование подтверждает универсальную роль глицинбетаина как компонента осмотической защиты у хвойных в условиях засухи. Однако оно также четко показывает, что стратегии его использования и связь с визуальной устойчивостью растений кардинально

различаются у близкородственных видов ели и сосны. У ели накопление глицинбетаина при экстремальном стрессе коррелирует с повреждением, в то время как у сосны уровень этого осмолита не может служить надежным индикатором фенотипической устойчивости к засухе в рамках проведенных экспериментов. Эти различия подчеркивают важность учёта видовой специфики при оценке механизмов устойчивости древесных растений к абиотическим стрессам, в частности, к дефициту воды.

#### **Список литературы**

1. Determination of Glycine Betaine by Periodide Method // Springer Protocols. Plant-Microbe Interactions. Laboratory Techniques / M. Senthilkumar, N. Amaresan, A. Sankaranarayanan. – NY. 2021. – Ch. 23. – P. 99 – 100.
2. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H. at all. A Global Overview of Drought and Heat-Induced Tree Mortality Reveals Emerging Climate Change Risks for Forests. Forest Ecology Management, 2010, vol. 259, iss. 4, pp. 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001.

### СЕКЦИЯ 3. ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ, МОХООБРАЗНЫХ, ГРИБОВ, ЛИШАЙНИКОВ И ВОДОРΟΣЛЕЙ, РЕДКИЕ ВИДЫ, ПРОБЛЕМА ИХ ОХРАНЫ И УСТОЙЧИВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

#### CONSERVATION AND DEVELOPMENT OF *SINDORA TONKINENSIS* CHEV. EX K. LARSEN & S.S. LARSEN AT HON BA NATURE RESERVER, VIETNAM

Dang V. H.<sup>1</sup>, Potokin A. F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vietnam National University of Forestry at Dongnai, Dong Nai province, Vietnam  
e-mail: viethung@vnuf2.edu.vn

<sup>2</sup>Saint- Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russian Federation  
e-mail: alex221957@mail.ru

*Sindora tonkinensis* A. Chev. Ex K. & S. S. Larsen, commonly known as *Gu lau*, a rare and valuable hardwood tree species native to northern and central Vietnam, is facing increasing threats from illegal logging, habitat degradation, and limited natural regeneration. Hon Ba Nature Reserve, located in Khanh Hoa Province, represents a critical habitat for the conservation of this species due to its unique biodiversity and ecological significance. The study also emphasizes the importance of integrating scientific research, local knowledge, and sustainable development practices to enhance conservation outcomes. By examining case studies and current management policies, this paper proposes a multi-tiered approach that combines habitat protection, ex situ propagation, and public awareness campaigns to ensure the long-term survival of *Sindora tonkinensis* at Hon Ba NR. The findings underscore the need for stronger institutional support and collaborative frameworks to balance biodiversity conservation with socio-economic development in the region. Therefore, protective measures, such as further research on the species' biological characteristics, propagation potential, and cultivation techniques, are essential for conserving and developing the genetic resources of this rare and valuable species.

Vietnam is recognized for its high biodiversity, hosting a variety of endemic and threatened plant species. Among them, *Sindora tonkinensis* (fig. 1), commonly known as *Gụ lau*, is a valuable hardwood species endemic to Indochina, particularly northern and central Vietnam. Due to its ecological specificity and high economic value, the species has been heavily exploited, leading to a significant reduction in wild populations. This report presents an overview of the current status, threats, conservation strategies, and development opportunities for *S. tonkinensis* in Vietnam. *S. tonkinensis* is native to Vietnam and parts of Laos. In Vietnam, natural populations are found in:

- Northern provinces: Phú Thọ, Yên Bái, Tuyên Quang, Bắc Giang, and Quảng Ninh.
- Central Vietnam: Thanh Hóa, Nghệ An, Quảng Bình, Quảng Trị and isolated populations in Khánh Hòa (Hòn Bà Nature Reserve).

Natural stands are generally scattered and occur in mixed deciduous forests, often under threat from human activities.

According to the Vietnam Red Data Book (2007), *Sindora tonkinensis* is classified as Endangered (EN) due to:

- Severe population decline from overexploitation.
- Habitat degradation and fragmentation.
- Weak natural regeneration under canopy cover.
- Limited distribution and small population sizes.

The species is listed in Appendix II of Vietnam's Decree 06/2019/NĐ-CP and Decree 84/2021/NĐ-CP, management of endangered, precious and rare forest plants and animals and implementation of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES).

The primary threats to *S. tonkinensis* at Hon Ba Nature Reserve include:

- Illegal logging: Driven by the high market value of the wood for furniture and construction.

- Agricultural expansion: Forests are cleared for crops and plantations, particularly in lowland areas.
- Fire and climate change: Increased drought frequency and forest fires reduce seedling survival.
- Poor regeneration: Natural seedling establishment is slow and heavily reliant on site conditions.



Figure 1 – *Sindora tonkinensis* at Hòn Bà Nature Reserve (Joongku Lee, 2014)

### Conservation Strategies in Practice

#### 1. In-situ conservation

- Protected areas: Populations in National Parks and Nature Reserves (Hòn Bà, Bắc Hương Hóa, Động Châu – Khe Nước Trong) are under direct conservation.
- Habitat protection: Preventing logging, promoting ecological succession, and monitoring regeneration.

#### 2. Ex-situ conservation

- Seed banks: Collection and storage of viable seeds by forestry research institutes.
- Botanical gardens and nurseries: Cultivation trials at Vietnam National University and the Forest Science Institute.

#### 3. Community-based conservation

- Local communities are engaged in seed collection, nursery establishment, and forest patrols.
- Educational campaigns raise awareness about the species' ecological and cultural significance.

### Development Opportunities

#### 1. Silvicultural and agroforestry potential

- *S. tonkinensis* can be integrated into mixed-forest plantations.
- Shows moderate tolerance to partial shade during early growth stages.
- Wood production cycle estimated at 25–30 years under managed conditions.

#### 2. Economic development

- Sustainable harvesting from plantation-grown trees could meet market demand while reducing pressure on wild populations.
- Value-added products such as furniture, handicrafts, and essential oils could support local economies.

### 3. Ecological restoration

- The species is suitable for restoring degraded forest areas due to its ecological adaptability and long lifespan.

- Can contribute to reestablishing native forest structure and biodiversity.

#### Recommendations

1. National-level inventory of existing *S. tonkinensis* populations using GIS and remote sensing tools.

2. Genetic diversity studies to inform seed sourcing and propagation strategies.

3. Strengthen legal enforcement to combat illegal logging in known habitats.

4. Expand ex situ collections and support research on seed dormancy and germination.

5. Pilot plantation programs combining conservation and commercial forestry under FSC standards.

6. Involve local communities in protection and benefit-sharing mechanisms.

**Conclusion.** The conservation and development of *S. tonkinensis* represent a multifaceted effort involving scientific research, policy support, local engagement, and sustainable forestry practices. Continued collaboration among government agencies, scientists, NGOs, and local communities is essential to ensure the survival and ecological restoration of this iconic species. *S. tonkinensis* is both an ecologically valuable and economically important species facing severe threats in the wild. A comprehensive conservation strategy that combines scientific research, habitat protection, ex situ development, and community engagement is essential to prevent its extinction and promote sustainable use. Vietnam has the potential to become a leader in conserving this rare hardwood species through integrated forest conservation and development models.

#### References

1. Decree 06/2019/NĐ-CP. On the management of endangered, precious and rare forest plants and animals and implementation of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) – Hanoi, 2019. 33p.

2. Decree 84/2021/NĐ-CP. On management of endangered, precious and rare forest plants and animals and implementation of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora – Hanoi, 2021. 31p.

3. FAO, FLD, IPGRI. Forest genetic resources conservation and management. Vol. 3: In plantations and genebanks (ex-situ). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. – 2004. 89 p.

4. Joongku Lee et al. Floristic Diversity of Hon Ba Nature Reserve, Vietnam. Korea National Arboretum. Pocheon, Republic of Korea – 2014. 752 p.

5. Nguyen Tien Hiep et al. Distribution and conservation status of *Sindora tonkinensis* in northern Vietnam. Journal of Biodiversity. – 2020. 47p.

6. Tran P, Tran T, Le D, et al. Vietnam Red Data Book - Part II. Plants. Vietnam Red Data Book. Vietnam Academy of Science and Technology Publishing House – Hanoi, 2007. 412 p.

## **КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ, ПОРАЖЕННОГО ГРИБАМИ-ДЕСТРУКТОРАМИ**

Алейников С. А.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: salelnikoff@yandex.by

*Для более полного выявления грибов-деструкторов в жилом помещении было проведено комплексное обследование, которое включало не только отбор образцов пораженных материалов, но и исследование проб воздуха. Изучен видовой состав образцов биологического материала, взятых с пораженных отделочных материалов и проб воздуха. А также выявлена степень загрязненности воздуха.*

**Введение.** Микроорганизмы, колонизирующие строительные и отделочные материалы обладают очень высокой деструктивной активностью из-за своих физиологических, морфологических и генетических особенностей, микромицеты способны в течение длительного периода времени сохранять свою жизнеспособность, и при благоприятных условиях прорасти, активно расти и оказывать тем самым сильнейшее воздействие на любые материалы искусственного и природного происхождения [6]. Механическое разрушение происходит за счёт активного роста биомассы мицелия, т. к. значительная часть строительных и отделочных материалов обладают достаточно высокой пористостью, то, чем крупнее поры, тем больше в них удерживается влаги, с помощью которой споры грибов могут прорасти и проникать в глубь микротрещин, вызывая их расширение, это приводит к расслоению лакокрасочных покрытий и штукатурки.

Химическое разрушение происходит в результате процесса жизнедеятельности грибов-деструкторов. Они воздействуют на материалы, продуцируя окислительно-восстановительные и гидролитические ферменты, а также органические кислоты — щавелевую, янтарную, яблочную, лимонную, молочную, фумаровую, уксусную и т.п. [1].

Помимо этого, присутствие спор плесневых грибов и их метаболитов в воздухе закрытых помещений может оказывать токсическое действие, способствовать развитию микозов, а также провоцировать развитие аллергических реакций, микроскопические размеры спор грибов (2–5 мкм у наиболее распространенных видов) позволяют им проникать глубоко в дыхательные пути человека [2]. Качество воздушной среды определяется степенью её загрязнённости данные о составе микрофлоры воздуха помещений весьма актуальны, так как в нем почти всегда присутствуют микроскопические организмы, способные вызвать различные заболевания при высокой концентрации и прочих сопутствующих условиях [7].

**Материалы и методы.** Лаборатория микологии по заявлению физического лица на услугу “Микологическая диагностика жилых и промышленных помещений” провела комплексное обследование квартиры в жилом фонде г. Минска (по этическим соображениям адрес не указывается).

Диагностика помещения начинается с визуального исследования – установления мест поражения грибами, фотодокументирование, подсчет площади пораженных поверхностей, отбора образцов материалов, пораженных плесневыми грибами, и проб воздуха с помощью аспиратора ПУ-1Б, лабораторное исследование включает посев на питательную среду отобранных образцов, выделение в культуру, приготовление временных препаратов, микроскопирование, идентификация выделенных видов грибов в соответствии с общепринятыми стандартными методами [6].

**Результаты исследования.** При визуальном осмотре двухкомнатной квартиры был отмечен хорошо видный рост плесневых грибов во всех помещениях – на обоях, на отделке потолка, на стенах под обоями, на предметах быта (рисунок 1). С пораженных поверхностей

было отобрано более 20 образцов пораженного материала и проведен отбор проб воздуха в каждой комнате и кухне.

В результате проведенной микологической идентификации выявлены 6 видов микроскопических грибов: *Acremonium murorum*, *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria botrytis* (рисунок 3). Эти же виды были выявлены и в пробах воздуха квартиры.



Рисунок 1 – Грибной рост на потолках, стенах, мебели, предметах обихода



а



б

Рисунок 2 – Определение концентрации спор в воздухе жилого помещения:

а – Рост спор грибов, находящихся в воздухе жилого помещения; б – Аспиратор ПУ-1Б.

Анализ полученных данных показал, что концентрация спор в воздухе жилого помещения была очень высокой – свыше  $1 \times 10^4$  КОЕ/м<sup>3</sup> (при фоновой или условно-допустимой концентрации в помещениях без повреждений деструкторами – 200 КОЕ/м<sup>3</sup>), это связано с обильным ростом микромицетов на поверхностях, эти виды грибов обладают активным ростом при благоприятных условиях (высокой влажности) и способностью

продуцировать большое количество спор, которые в свою очередь могут провоцировать развитие аллергических реакций и в значительной степени ухудшать качество жизни (рисунок 2). Поэтому данные виды плесневых грибов отнесены к условно-патогенным [4].

*Acremonium murrorum* является одним из возбудителей плесневого онихомикоза. Грибы рода *Altemaria* могут вызывать кожные и подкожные микозы, а также онихомикозы (в виде вторичной инфекции). Клинические проявления этой плесневой инфекции, как правило, не имеют каких-либо четких отличительных особенностей. Иногда массивное скопление *Altemaria* в матриксе вызывает темную пигментацию ногтей. *Altemaria* является наиболее частым возбудителем аллергического микозного синусита. Эта неинвазивная инфекция развивается у иммунокомпетентных людей. Данное заболевание характеризуется наличием аллергического муцина, специфических антимикотических IgE и повышением уровня общих IgE. При компьютерной томографии пазух носа наблюдается повышенная воздушность [2].

*Aspergillus niger* является патогенным для человека, вызывая аспергиллез. Аспергиллез – это грибковая инфекция, вызываемая спорами комнатных и уличных видов плесени *Aspergillus*. Аспергиллезная инфекция обычно возникает у людей с ослабленной иммунной системой или уже существующими заболеваниями легких, такими как астма и муковисцидоз. Типы аспергиллеза включают аллергический бронхолегочный аспергиллез (ABPA), аллергический аспергиллезный синусит, кожный аспергиллез и хронический аспергиллез легких [3].

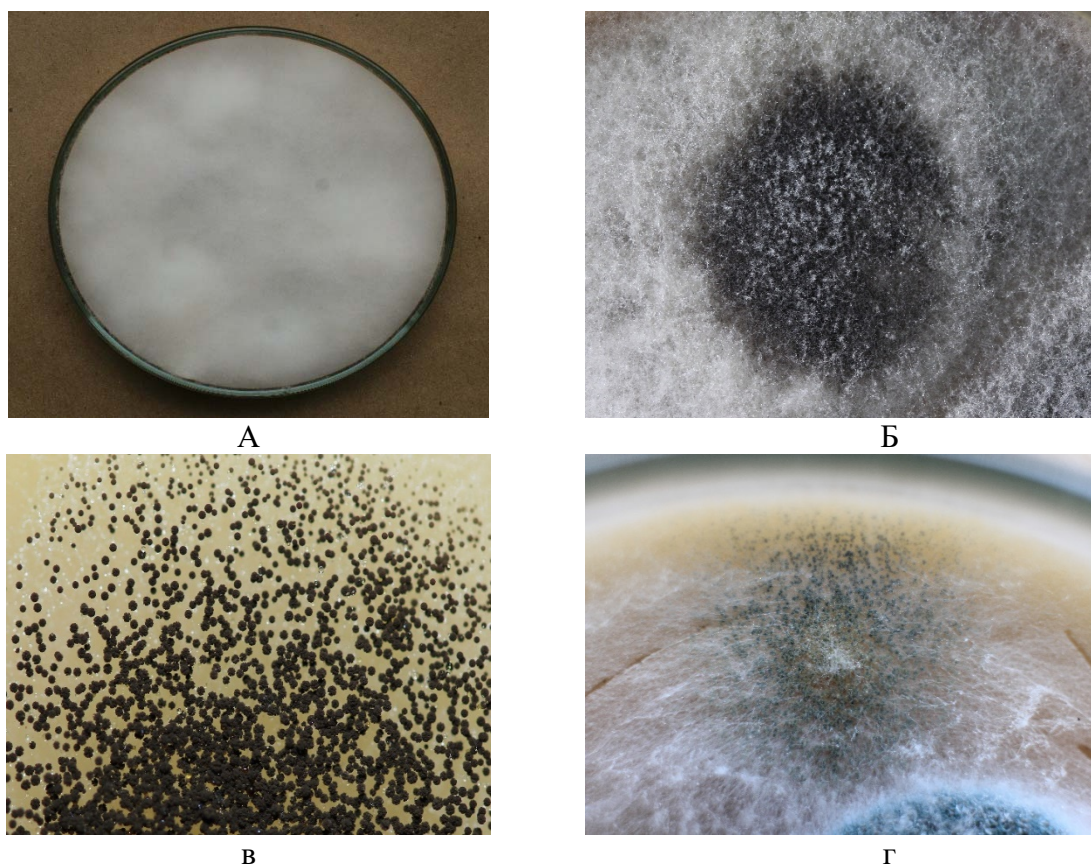


Рисунок 3 – Культуральный рост грибов:

а – *Acremonium murrorum*; б – *Alternaria alternata*; в – *Aspergillus niger*; г – *Chaetomium globosum*

*Chaetomium globosum* также вызывает онихомикоз, перитонит, кожные инфекции. Иногда в одном из случаев является возбудителем церебрального феогифомикоза и деструктором полимерных материалов (целлюлозы, древесины и др.). *Penicillium chrysogenum* может вызывать, помимо отомиоза, кератит и эндофтальмит [3].

**Заключение.** Комплексное обследование жилого помещения показало, что при отборе образцов с пораженных грибами-деструкторами поверхностей необходим контроль концентрации спор в воздухе, т. к. споры грибов могут являться вторичным источником заражения помещений квартиры и предметов быта. Активный рост грибов-деструкторов негативно влияет на механические свойства и внешний вид строительных и отделочных материалов, приводя к деформации и разрушению обоев, штукатурки и краски, а также ухудшению их внешнего вида из-за изменения окраски и появления темноокрашенных пятен, причиной которых, является продуцирование грибами-деструкторами пигментов и органических кислот. Также споры условно-патогенных плесневых грибов в больших количествах могут вызывать серьезные болезни дыхательных путей и кожных покровов, спровоцировать развитие аллергических реакций.

*Благодарности.* Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» 2021-2025 г. (подпрограмма 4 «Обеспечение инновационного развития отрасли жилищно-коммунального хозяйства», мероприятие 10 «Разработать рекомендации по идентификации, профилактике и предотвращению распространения грибов-биодеструкторов в жилых, общественных и производственных помещениях»).

#### Список литературы

1. Барина, К. В. Органические кислоты микромицетов, изолированных с каменистых субстратов / К. В. Барина, Д. Ю. Власов, С. М. Щипарев [и др.] // Микология и Фитопатология. – 2010. – Т. 44, № 2. – С. 137–142.
2. Кряжев, Д. В. Роль факторов климатического старения в оценке устойчивости полимерных материалов к действию микроскопических грибов / Д. В. Кряжев, В. Ф. Смирнов // Пластические Массы. – 2010. – № 6. – С. 46–48.
3. Осипян, Л. Л. Пенициллии / Л. Л. Осипян, Э. З. Коваль, А. В. Руденко [и др.] // Биолог. журн. Армении. – 2017. – С. 406.
4. Сатонн, Д. Определитель патогенных и условно патогенных грибов / Д. Сатонн [и др.] // М., Мир. – 2001. – с. 468.
5. Шабашова, Т. Г. Особенности метода отбора образцов при микологической экспертизе помещений / Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева, С. И. Корняк // Ботаника (исследования). – Минск, 2016. – Вып. 45. – С. 202–208.
6. Щербинская, И. П. Оценка микобиоты жилых помещений г. Минска / И. П. Щербинская, Н. В. Дудчик, В. В. Кравцова [и др.] // Современные проблемы гигиены, радиационной и экологической медицины. Гродно: ГрГМУ, 2014. – С. 317–320.
7. Dennis D. P. Chronic sinusitis: defective T-cells responding to superantigens, treated by reduction of fungi in the nose and air // Archives of Environmental Health. – 2003. – V.58, №7. – P.433-441.

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЫРЬЯ  
*FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM. В БЕЛАРУСИ**

Амбросова А. П., Сысой И. П.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: ambrosova150702@gmail.com

В статье представлены данные по запасам и возможным ежегодным объемам заготовки сырья *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. на территории Республики Беларусь; перечень районов с наибольшим ресурсным потенциалом данного вида; результаты стоимостной оценки сырья и экономической целесообразности его использования.

Таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) представляет собой широко распространённое многолетнее травянистое растение из семейства розовых (Rosaceae), официально включённое в Государственную фармакопею Республики Беларусь с 2008 года. На территории Беларуси вид встречается повсеместно на пойменных и влажных лугах, вдоль рек и ручьёв, на окраинах болот и в сырых зарослях кустарников. Таволга вязолистная образует густые заросли, пригодные для заготовки лекарственного растительного сырья, и представляет интерес как с фитохимической, так и с фармакологической точки зрения.

Фармакопейным сырьём выступают соцветия (*Filipendulae ulmariae flores*) и трава (*Filipendulae ulmariae herba*), заготавливаемые в фазу полного цветения (июнь — июль). В Государственной фармакопее Республики Беларусь сырьё стандартизируется по содержанию биологически активных веществ: соцветия — по сумме флавоноидов, трава — по содержанию эфирных масел. Применяются как водные, так и спиртовые извлечения, в том числе 40 % этанольный экстракт, оптимально извлекающий флавоноиды в количестве до 3,9–4,0 % в пересчёте на рутин. Основные биологически активные вещества включают флавоноиды (спираеозид, кверцетин, изокверцитрин), фенольные кислоты (в том числе эллаговую и кофейную), дубильные вещества (до 23 %), салициловый альдегид, метилсалицилат и эфирные масла (до 0,2 % в соцветиях).

В медицинской практике препараты на основе таволги вязолистной применяются как жаропонижающее, противовоспалительное, анальгезирующее, вяжущее, антисептическое, диуретическое средство, а также в составе комплексной терапии при простудных заболеваниях, ревматизме, головных болях и расстройствах желудочно-кишечного тракта. Настойка корневищ, содержащая салицилаты и дубильные вещества, проявляет выраженное антибактериальное и противовирусное действие, в том числе в отношении вирусов гриппа. Результаты фармакологических исследований подтверждают антимикробную, антиоксидантную, противовоспалительную и гепатопротективную активность экстрактов таволги, а также способность ингибировать активность фермента  $\alpha$ -амилазы, что открывает перспективы для использования сырья в составе фитопрепаратов метаболической направленности. В народной медицине используется как мягкое снотворное и седативное средство. Научный интерес к этому виду возрастает в связи с перспективами создания новых фитопрепаратов на основе его сырья.

*Filipendula ulmaria* является ценным фармакопейным видом с высоким потенциалом для расширения ассортимента растительных препаратов и дальнейшего развития фитотерапии на территории Республики Беларусь. В связи с этим нами проведена оценка ресурсного потенциала и экономической целесообразности использования сырья таволги вязолистной. Поиск ее мест произрастания осуществляли с помощью картографических, лесотаксационных материалов и непосредственно на местности маршрутно-рекогносцировочным методом. Изучение популяций проводили как на временных, так и на постоянных пробных площадях, где закладывали учетные площадки размером 1 м x 1 м и в количестве, позволяющем получить достоверные результаты. Проективное покрытие вида

определяли глазомерно или с помощью сеточки Раменского. Удельную сырьевую фитомассу определяли методом учетных площадок в конкретных зарослях: вычисляли среднюю арифметическую массы сырья на единице площади с учетом ошибки средней арифметической ( $M \pm m$ ). Сырье заготавливали и сушили в соответствии с требованиями инструкций по сбору и сушке растений. Полученные результаты статистически обработаны с использованием общепринятых методов. Ресурсы таволги определяли в пределах административных районов с помощью алгоритма кадастровой региональной оценки запасов сырья, основанного на общепринятых методиках. Специально разработанными компьютерными программами обрабатывались полевые, лесотаксационные и литературные материалы с последующим расчетом площади и количества популяций таволги, а затем определялись биологический и эксплуатационный запасы сырья с учетом площади данного вида и удельной сырьевой фитомассы, а также возможные ежегодные объемы заготовок сырья – как частное от деления эксплуатационного запаса сырья на оборот заготовки, включающий год заготовки и продолжительность периода восстановления заросли.

Стоимостная оценка растительных ресурсов определялась по формуле:

$$C = 3 \times \frac{\Pi}{100} \times K_c \times B \times \frac{q_{эк}}{q_{э}},$$

где  $C$  – стоимостная оценка вида, руб.;  $3$  – эксплуатационный запас сырья вида, кг;  $\Pi$  – рекомендуемый объем ежегодного использования запаса сырья вида (не должен превышать процент его прироста) в процентах;  $K_c$  – коэффициент, учитывающий ресурсную стоимость вида, эквивалентную стоимости возмещения вреда при утрате ресурса в базовых величинах, б.в./кг;  $B$  – размер базовой величины, установленный законодательством на дату оценки запасов растительных ресурсов, руб.;  $q_{эк}$  – капитализатор (норма дисконта) экологической сферы, значение которого обратно пропорционально сроку воспроизводства потребляемого природного вещества, составляющего основу естественной экологической системы определенного типа;  $q_{э}$  – капитализатор (норма дисконта) экономической сферы, принимается на уровне 0,05.

В рамках ведения Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь учтено 202439 популяций таволги вязолистной на площади 232213,1 га. Наибольшие площади вида сосредоточены в Брестский, Витебской и Гомельской областях, а наименьшая площадь отмечена в Гродненской области (таблица 1).

Таблица 1 – Количество популяций таволги вязолистной и их площади по областям Беларуси

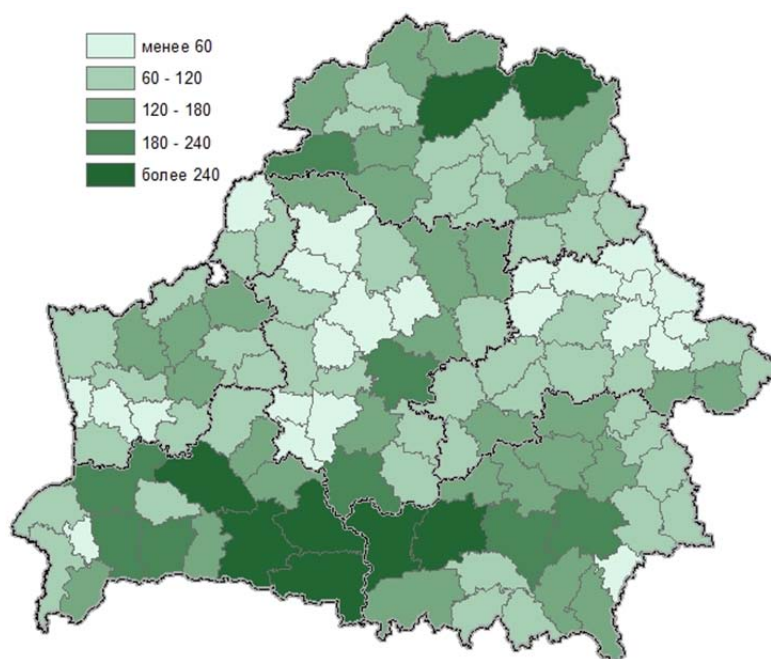
| Область             | Количество популяций | Площадь, га |
|---------------------|----------------------|-------------|
| Брестская           | 38020                | 48684,3     |
| Витебская           | 44854                | 46046,1     |
| Гомельская          | 46494                | 48016,2     |
| Гродненская         | 19896                | 25848,3     |
| Минская             | 30749                | 36361,9     |
| Могилевская         | 22426                | 27256,3     |
| Республика Беларусь | 202439               | 232213,1    |

Проведена оценка запасов и возможных ежегодных объемов заготовки сырья *Filipendula ulmaria* на территории страны (таблица 2).

**Таблица 2 – Запасы и возможные ежегодные объемы заготовок лекарственного сырья таволги вязолистной по областям Беларуси**

| Область             | Биологический запас, т | Эксплуатационный запас, т | Возможные ежегодные объемы заготовки, т |
|---------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Брестская           | 2921                   | 1461                      | 365                                     |
| Витебская           | 2763                   | 1381                      | 345                                     |
| Гомельская          | 2881                   | 1143                      | 286                                     |
| Гродненская         | 1551                   | 775                       | 194                                     |
| Минская             | 2182                   | 1091                      | 273                                     |
| Могилевская         | 1635                   | 687                       | 172                                     |
| Республика Беларусь | 13933                  | 6538                      | 1635                                    |

На основе анализа пространственного распределения запасов сырья *Filipendula ulmaria* нами выявлены центры их концентрации (рисунок 1).

**Рисунок 1 – Биологический запас побегов таволги вязолистной по административным районам, в тоннах**

Наибольший биологический запас воздушно-сухого лекарственного сырья *Filipendula ulmaria* (более 180 т на административный район) сосредоточен на территории Дрогичинского (218), Ивацевичского (295), Кобринский (183), Лунинецкого (277), Пинского (283), Пружанского (234) и Столинского (353) районов Брестской области; Городокского (314), Полоцкого (256) и Поставского (206) районов Витебской области; Житковичского (267), Калинковичского (214), Петриковского (277) и Речицкого (221) Гомельской области; Пуховичского (213) и Солигорского (213) районов Минской области.

На территории данных районов целесообразно проводить промышленные заготовки сырья данного вида и организовывать региональные центры сбора его лекарственного сырья.

Так же проведена оценка экономической целесообразности использования ресурсов таволги по разработанным методическим рекомендациям. По предварительным экспертным расчетам стоимостная оценка запасов сырья данного вида составляет около 22 млн белорусских рублей.

Таким образом, *Filipendula ulmaria* представляет собой ценный объект для фитосырьевой заготовки и фармацевтической переработки, обладая высоким биологическим и лекарственным потенциалом.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОРКОВИ ПОСЕВНОЙ ПРИ ОДНОКРАТНОЙ И ПОВТОРЯЮЩЕЙСЯ ГРАВИСТИМУЛЯЦИИ

Багрецова М. Р.<sup>1</sup>, Смолянина С. О.<sup>1</sup>, Тараканов И. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: Lol2101bear@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

*В статье рассмотрены особенности роста и морфогенеза моркови посевной *Daucus carota* L. при изменении положения относительно вектора силы тяжести, что актуально для разработки космических оранжерей в рамках программ освоения космоса. Постоянное или периодическое изменение положения растений в гравитационном поле не оказало негативного влияния на рост растений и формирование корнеплодов, но значительно уменьшило массу корневой системы, а также стимулировало развитие ксилемных тканей и угнетало формирование флоэмы в корнеплодах.*

В рамках национальных программ по освоению ближнего и дальнего космического пространства во всех технологически развитых странах активизировались работы по созданию космических оранжерей, способных длительное время функционировать на орбитальных станциях, межпланетных кораблях и планетарных базах. Необходимым условием нормального морфогенеза и онтогенеза растений является полярная организация их тел, обеспечивающая формирование функционально значимых асимметричных структур и координацию метаболических процессов в растительном организме [1]. Поляризация растений индуцируется в ответ на действие векторизованных стимулов, основным из которых на Земле является гравитация. Отсутствие (например, на борту орбитальных станций) или ослабление (на лунной или марсианской базах) однонаправленного гравитационного воздействия на растения неизбежно должно создавать повышенную нагрузку на их адаптационные системы [1].

Несмотря на значительный объем данных о механизмах, лежащих в основе гравитропических реакций растений, изучение влияния гравитационного фактора на морфогенез и метаболическую активность различных видов растений по-прежнему актуально [2, 3]. Это, прежде всего, относится к формированию и функционированию корневой системы, у которой, в отличие от надземных органов, слабо развита фототропическая реакция, компенсирующая в условиях невесомости отсутствие гравитационного воздействия на морфогенез побегов. Это позволяет с высокой степенью вероятности предположить более значимое влияние измененной весомости на морфогенез подземных органов.

Целью данной работы явилось изучение роста и морфогенеза моркови посевной при однократном или периодическом изменении ориентации растений относительно вектора силы тяжести. Растения выращивали в течение 60 суток при круглосуточном освещении на пористых титановых трубках, обернутых несколькими слоями ионообменного волокнистого почвозаменителя и покрытых снаружи защитными чехлами из алюминиевой фольги. Семена при посеве помещали между слоями почвозаменителя. В контрольном варианте растения выращивали в естественном положении относительно вектора силы тяжести в течение всей вегетации. В опытных вариантах на 7-е сутки вегетации трубки с растениями поворачивали на 180°, так что корни оказывались выше побегов (инвертное положение). В одном из вариантов растения оставляли в инвертном положении до конца вегетации, в другом раз в 3 суток изменяли положение растений с инвертного на естественное, и обратно. Световой

поток при этом всегда был направлен от верхушек растений к посадочной поверхности (рисунок 1).



**Рисунок 1 –** Вегетационный стенд с растениями моркови в возрасте 22 суток (А) и корнеплоды моркови на 60-е сутки вегетации в волокнистом почвозаменителе БИОНА – ВЗ (Б). 1 – пористая титановая трубка; 2 – волокнистый почвозаменитель; 3 – сосуды Мариотта с питательным раствором

Судя по динамике транспирации, выращивание растений в инвертном положении несколько затягивало начало формирования корнеплодов. Вместе с тем в контрольном варианте доля растений, образовавших корнеплод, составила в среднем 77 %, а в опытных вариантах – около 90%. Это произошло, по-видимому, потому, что растения в опытных вариантах сформировали более рыхлую розетку листьев за счет уменьшения числа листьев и изогнутой формы черешков, что улучшило распределение света по глубине посева. При этом параметры индивидуальных листьев, т. е. средняя длина листа и отношение длин черешка и листовой пластинки, не различались в контрольном и опытных вариантах.

Результаты эксперимента не выявили достоверных различий по массе листьев и корнеплодов в контрольном и опытных вариантах, хотя была отмечена тенденция к уменьшению сырой массы корнеплодов при постоянном или периодическом выращивании растений в инвертном положении. Это явилось, вероятно, следствием более позднего начала формирования корнеплодов. Сырая и сухая масса собственно корней, т. е. функциональной части корневой системы, при постоянном или периодическом изменении положения растений относительно вектора силы тяжести уменьшилась в 2–2,5 раза по сравнению с растениями, растущими в естественном положении.

Постоянное или периодическое изменение положения растений в гравитационном поле стимулировало развитие ксилемы и угнетало развитие флоэмы в корнеплодах. Несмотря на это, содержание каротина и ликопина в корнеплодах опытных вариантов было таким же, как в контроле, или даже несколько выше (таблица 1). Изменения анатомии корнеплодов в опытных вариантах не привели к повышению содержания нитратов и ухудшения их вкусовых качеств по сравнению с контролем.

**Таблица 1 – Биохимические и потребительские показатели корнеплодов моркови**

| Показатели                  | Положение растений относительно вектора силы тяжести |            |            |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|------------|------------|
|                             | естественное                                         | инвертное  | переменное |
| α-каротин, мг/100 г         | 5,7 ± 1,1                                            | 6,7 ± 0,8  | 5,4 ± 0,9  |
| β-каротин, мг/100 г         | 3,9 ± 0,9                                            | 5,1 ± 0,7  | 4,3 ± 0,8  |
| Ликопин, мг/100 г           | 13,6 ± 6,3                                           | 13,3 ± 3,9 | 13,8 ± 6,7 |
| Нитраты, мг/кг              | 360 ± 18                                             | 344 ± 38   | 281 ± 13   |
| Дегустационная оценка, балл | 2,3 ± 0,7                                            | 2,3 ± 0,5  | 2,5 ± 0,5  |

Примечание. 1 балл – отлично, 2 балла – хорошо, 3 балла – удовлетворительно, 4 балла – плохо.

Таким образом, изменение положения растений моркови относительно вектора силы тяжести не оказало негативного влияния на их рост, а также на урожайность и качество корнеплодов. Вместе с тем выявленные изменения в структуре растений, в частности, значительное уменьшение доли корня в массе целого растения, могут указывать на необходимость коррекции режимов увлажнения, аэрации и минерального питания моркови в условиях измененной, по сравнению с Землей, весомости.

**Список литературы:**

1. Медведев, С. С. Механизмы формирования и физиологическая роль полярности в растениях / С. С. Медведев // Физиология растений. – 2012. – №59 (4). – С. 543–556.
2. Различия в росте и онтогенетическом развитии растений, выращиваемых в гравитационном поле Земли при естественной и инвертной ориентации / С. О. Смолянина (Лебединская), Ю. А. Беркович, Н. М. Кривобок, В. Б. Иванов // Известия Российской Академии Наук. Серия Биологическая. – 2003. – №6. – С. 662–669.
3. Impact of the altered light vector relative to gravity vector on plant growth and development: Space Life Sciences: Gravity-Related Effects on Plants and Spaceflight and Man-Made Environments on Biological Systems / Yu. A. Berkovich, S. O. Smolyanina, N. M. Krivobok [et al.] // Advances in Space Research. – 2005. – Vol. 36. – №7. – P. 1319–1328.

**СТРУКТУРНЫЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *MONARDA* С МИКОАГЕНТАМИ**

Булавин И. В., Солдатов Д. К., Феськов С. А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», г. Ялта, Российская Федерация  
e-mail: cellbiolnbs@yandex.ru

Проведены структурные и генетические исследования растений *Monarda didyma* L., *M. Fistulosa* L. и *M. citriodora* Cerv. ex Lag. в связи с поражаемостью микоагентами. Показано, что в 2024 и 2025 гг. на листовых пластинках анализируемых видов обнаруживали *Alternaria alternata* и мучнисторосые грибы, в меньшей степени для *M. citriodora*. Анатомические исследования показали большую толщину кутикулы у *M. citriodora*. При поражении мучнистой росой установлена лигнификация тканей листа. На основе RAPD-ПЦР предполагаются генетическая обусловленность разной степени поражаемости исследуемых видов.

Представители рода *Monarda* (Lamiaceae) являются перспективными объектами для исследований, поскольку их эфирное масло обладает высокой биологической активностью. Отмечается, что сами растения подвержены инфицированию микоагентами, что может негативно сказываться на их продуктивности и декоративных качествах. В опубликованных научных работах существуют сведения о микопатогенах, которые обнаруживаются на органах *Monarda* sp. [1], а также единичные данные об изменении выхода эфирного масла и его компонентного состава при микопоражениях [2]. Для селекционного процесса на устойчивость к грибным заболеваниям необходимы не только описательные данные, но также морфолого-анатомические, биохимические и молекулярные исследования, позволяющие выявить механизмы защиты растений и генетические детерминанты. Поэтому целью нашей работы была идентификация обнаруженных микопатогенов, проведение анатомического и гистохимического анализа некоторых представителей рода *Monarda* с целью выявления потенциальных защитных механизмов, а также установление генетической близости между анализируемыми растениями.

Исследования проводили в 2024–2025 гг. В качестве объектов использовали растения *Monarda didyma* L., *M. Fistulosa* L. и *M. citriodora* Cerv. ex Lag., культивируемые *ex situ* на коллекционных участках Никитского ботанического сада. Идентификацию микоагентов осуществляли методом световой микроскопии на слепках поверхности, изготовленных из прозрачного скотча (~1,5 × 2 см). ПЦР-анализ проводили с использованием набора 5X ScreenMix-HS (Евроген, Россия) и пары специфичных праймеров (AAF2, AAR3) к *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. [3]. Для исследования структуры листовых пластинок высадки из их центральной части фиксировали в 2,5%-ном глutarовом альдегиде и 1 %-ном OsO<sub>4</sub>, обезвоживали в спиртах восходящей концентрации и ацетоне, заливали в смесь эпоксидных смол эпон-аралдит. Полутонкие срезы (1–2 мкм) получали на ультрамикротоме Ultracut E (Reichert, Австрия), окрашивали 0,12 %-ным раствором толуидинового синего. Гистохимический анализ тканей листовых пластинок проводили на поперечных срезах, изготовленных из свежего материала при помощи замораживающего микротом M3-2 (Точмедприбор, Украина), оснащенного охладителем лабораторным ОЛ-30 (ОЛ-ЗСО 30) (Инмедпром, Россия). Лигнин в тканях выявляли 0,5 %-ным раствором флороглюцина и концентрированной соляной кислотой [4]. Микропрепараты исследовали на микроскопе CX41 (Olympus, Япония), оснащенный камерой SC 50 (Olympus, Германия) и программным обеспечением CellSens Imaging Software версии 1.17. Измерения линейных параметров тканей и клеток проводили на цифровых снимках десяти разных листьев в программном обеспечении UTHSCSA ImageTool v. 3.00.

Тотальную ДНК выделяли из молодых неповрежденных листьев растений классическим способом с применением цетилтриметиламмоний бромид (2×ЦТАБ) и 2 % поливинилпирролидона (ПВП) [5]. RAPD-ПЦР проводили с применением набора с HS-Taq

(Биолабмикс, Российская Федерация) и праймеров ОРА1-20. Амплификацию выполняли в термоциклере GeneExplorer™ GE-96S (Bioer, Китай). В качестве молекулярного маркера использовали Step 100 Long (Биолабмикс, Россия). Амплифицированные фрагменты анализировали при помощи горизонтального электрофореза в 1,8%-ном агарозном геле с ТБЭ-буфером (0,5×) при 65 В в течение 1 ч с использованием универсального источника питания Эльф-4 (ДНК-технология, Россия). Гель визуализировали с помощью системы документации GenoSens 2250 Touch (Clinx, Китай) и обрабатывали в программном обеспечении (ПО) Image Lab™ версии 6.0 (Bio-Rad, США). Статистический анализ выполняли в ПО Past v. 3.26.

В 2024 г. на поверхности листовых пластинок *M. didyma*, *M. fistulosa* и *M. citriodora*, обнаруживали белый налет, который либо полностью развивался на адаксиальной поверхности органа, либо формировал отдельные очаги (рис. 1, А). Распространение грибного организма осуществлялось между поверхностных структур листовых пластинок. Со временем у органов происходило потемнение участков, на которых осуществлялось развитие микроорганизма или изменение цвета листа охватывало большие части поверхности листа. Микроскопический анализ позволил идентифицировать микоагента как *A. alternata* (рис. 1, В), что подтверждено ПЦР-анализом (рис. 1, Д). В 2025 г. на поверхности листовых пластинок также обнаруживали белый налет (рис. 1, Б) и при микроскопической идентификации, в большей степени, определяли мучнисторосяные грибы (рис. 1, Г) с минимальным присутствием *A. alternata*. Преобладание одного вида микоагентов над другим, вероятнее всего, обусловлено влиянием внешних факторов (температуры, количества осадков). Также стоит отметить меньшую поражаемость *M. citriodora*, сравнительно с другими исследованными видами.

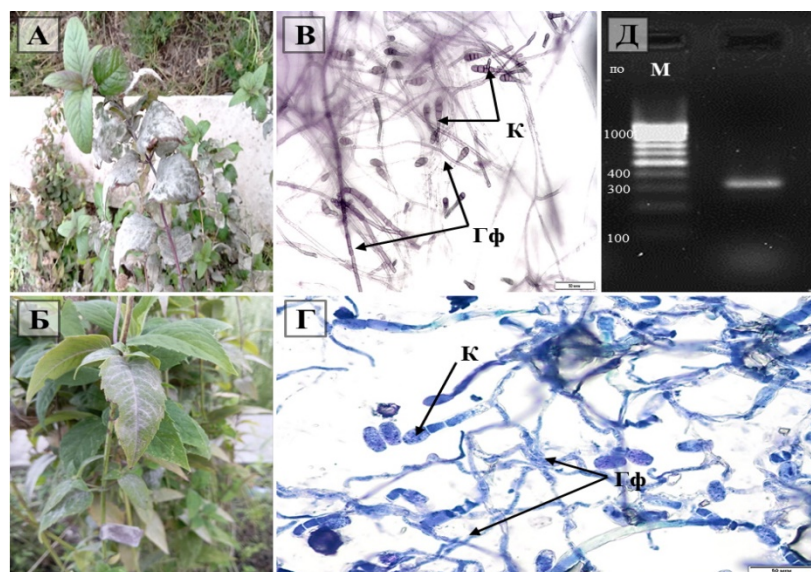
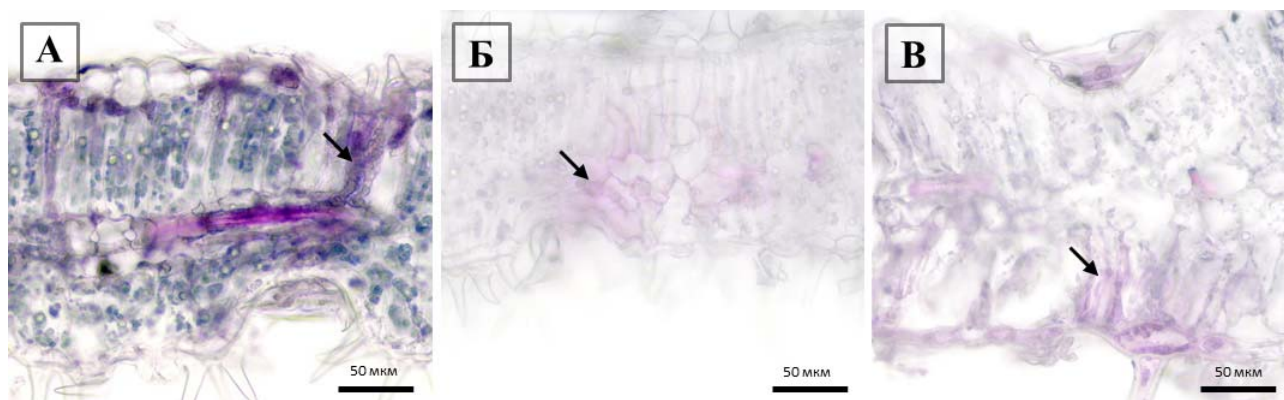


Рисунок 1 – Снимки пораженных растений монарды (А, Б), мицелия гриба (В, Г) и агарозного геля со специфическим продуктом для *Alternaria alternata*. Гф – гифы, К – конидии.

Проанализирована структура листовых пластинок *M. didyma*, *M. citriodora* и *M. fistulosa*. Поверхность органов была покрыта кроющими и железистыми трихомами. На поперечных срезах в области центральной жилки дифференцировали эпидерму с кутикулой, несколько субэпидермальных слоев колленхимы в верхней и нижней частях, проводящий закрытый коллатеральный пучок, состоящий из ксилемы и флоэмы, клетки паренхимы. В боковой части листа выделяли однорядную верхнюю и нижнюю эпидерму, покрытую кутикулой, палисад, трех-четырёхслойный губчатый мезофилл. Отмечено, что *M. Citriodora* имеет более развитый кутикулярный слой, крупные клетками эпидермы и мезофилла, сравнительно с таковыми *M. Fistulosa* и *M. didyma*.

Гистохимический анализ на лигнин при поражении *A. alternata* показал его естественное накопление в элементах ксилемы (малиновое окрашивание). В то же время, при развитии мучнисторосяных грибов могла наблюдаться лигнификация клеток мезофилла, что, вероятно, связано с проникновением микопатогена в ткани листовых пластинок (рис. 2).



**Рисунок 2 – Фрагменты поперечных срезов пораженных листовых пластинок *Monarda didyma* (А), *M. fistulosa* (Б) и *M. citriodora* (В) после проведения качественной гистохимической реакции на лигнин. Стрелочками указаны места лигнификации.**

Ввиду различий поражаемости видов нами проведен анализ их генетического сходства. Показано, что *M. citriodora* формирует отдельный кластер, при этом коэффициент близости с *M. fistulosa* составлял 0.31, с *M. didyma* – 0.28, а между двумя последними видами – 0.69.

Таким образом установлено, что в 2024 и 2025 гг. в условиях Южного берега Крыма *M. didyma*, *M. fistulosa* и *M. citriodora* поражались *A. alternata* и мучнистой росой. Анатомические исследования показали подобность строения листовых пластинок исследуемых видов, при этом наиболее развитый кутикулярный слой отмечен у *M. citriodora*. При поражении мучнистой росой установлена лигнификация тканей листа, что связано с проникновением патогена. Анализ генетической близости растений показал, что *M. citriodora* значительно отличается от *M. didyma*, *M. fistulosa*. Предполагается, что генетические различия обуславливают разную степень поражаемости исследуемых видов.

*Благодарности. Исследования выполнены в рамках ГЗ №1023041300067–1-4.1.1 (FNNS 2024–0004) ФГБУН "НБС-ННЦ".*

#### Список литературы

1. Исигов, В. П. Аннотированный список грибов на ароматических и лекарственных растениях Крыма / В. П. Исигов // Сборник научных трудов ГНБС. – 2016. – №142. – С. 44–68.
2. Работягов, В.Д. Состав эфирного масла у *Monarda fistulosa* L., пораженной мучнисто-росяным грибом *Golovinomyces biocellatus* (Ehreb.) Gel / В. Д. Работягов, В. П. Исигов, Н. С. Овчаренко, О. В. Лопотова // Черномор. Ботан. журн. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 373–377.
3. Ганибал, Ф. Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*. Методическое пособие / Ф.Б. Ганибал. – Санкт-Петербург: ВИЗР, 2011. – 71 с.
4. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 311 с.
5. Структура листовой пластинки некоторых представителей рода *Echinacea* Moench в условиях интродукции на Южном берегу Крыма / Д. К. Солдатов, И. В. Булавин, Д. И. Калмыкова [и др.] // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2024. – №3 (172). – С. 66–78.

## ИЗМЕНЕНИЕ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ $\text{Ca}^{2+}$ В КОРНЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Гордых С. А.<sup>1</sup>, Бартошевич М. С.<sup>1</sup>, Челядинский В. И.<sup>1</sup>, Чирская А. И.<sup>1</sup>, Муравицкая А. О.<sup>1</sup>,  
Алексеева М. И.<sup>1</sup>, Мацкевич В. С.<sup>1</sup>, Демидчик В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: v.mackievic@gmail.com

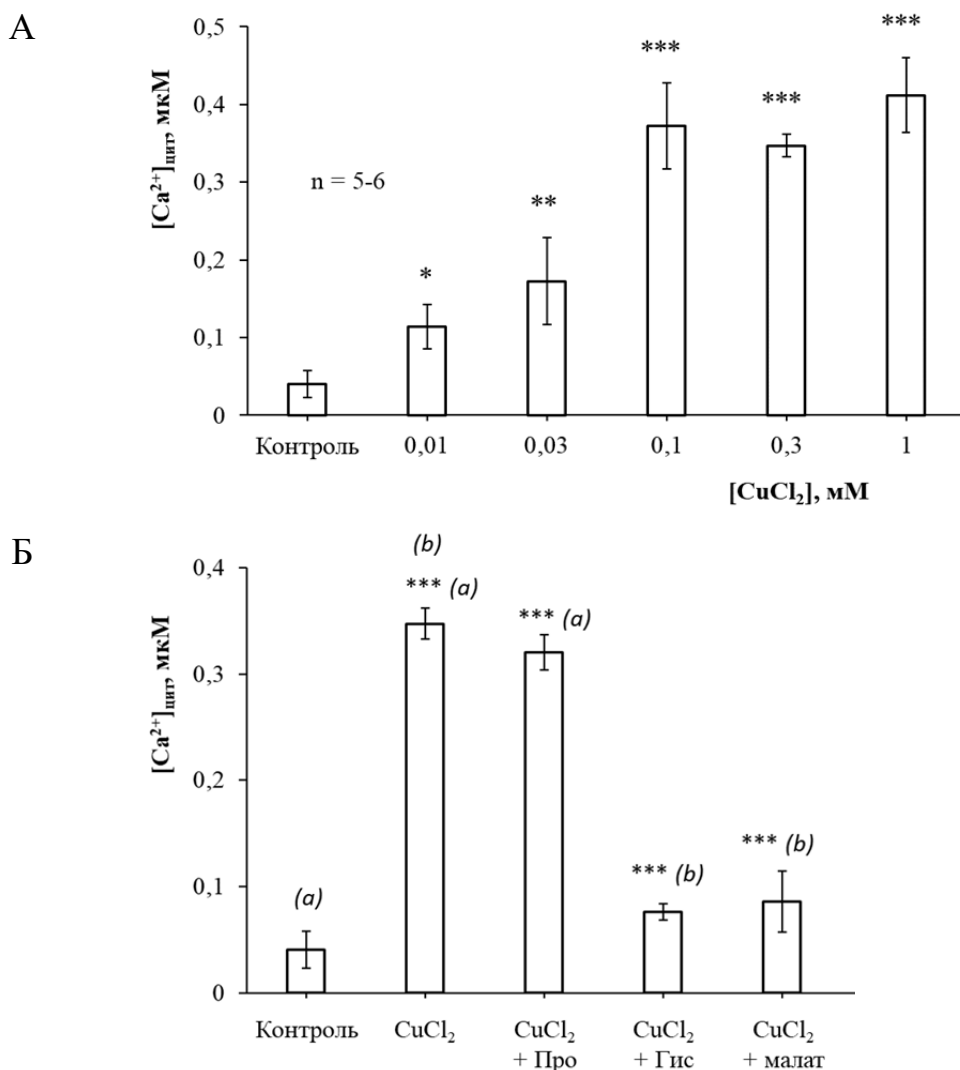
<sup>2</sup>ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

При помощи метода  $\text{Ca}^{2+}$ -эквориновой люминометрии было показано, что 0,01–1 мМ  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  не вызывали значительного повышения  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  в клетках корня *Arabidopsis thaliana*, в то время как для  $\text{Cu}^{2+}$  было показано дозозависимое усиление  $\text{Ca}^{2+}$  сигнала. Предобработка корней гистидином и малатом в 4–4,5 раза снижала амплитуду  $\text{Ca}^{2+}$ -пигов, индуцированных повышенными уровнями  $\text{Cu}^{2+}$ .

**Введение.** Одной из наиболее важных экологических проблем современности является загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ). В Беларуси средний уровень содержания никеля в почвах составляет около 3,7 мг/кг сух. массы, марганца – 258 мг/кг сух. массы, меди – 13 мг/кг сух. массы, цинка – 35 мг/кг сух. массы [1]. Однако в некоторых городах концентрации ТМ превышают ОДК. Так, например, мониторинг состояния почв г. Минска в 2024 г. выявил превышение ОДК цинка и меди в 35,4 % и 16,0 % проанализированных проб соответственно [2]. Избыток ТМ в среде, вызванный антропогенным загрязнением или агротехническими практиками, провоцирует ряд токсических эффектов в растительных организмах, включая окислительный стресс, повреждение клеточных структур и инактивацию ферментов [3]. При этом специфические ответы кодируются посредством пространственно-временных колебаний цитоплазматической активности  $\text{Ca}^{2+}$  ( $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$ ) [4]. Цель настоящей работы – анализ изменения кальциевой сигнализации в корнях *Arabidopsis thaliana* в ответ на обработку ТМ.

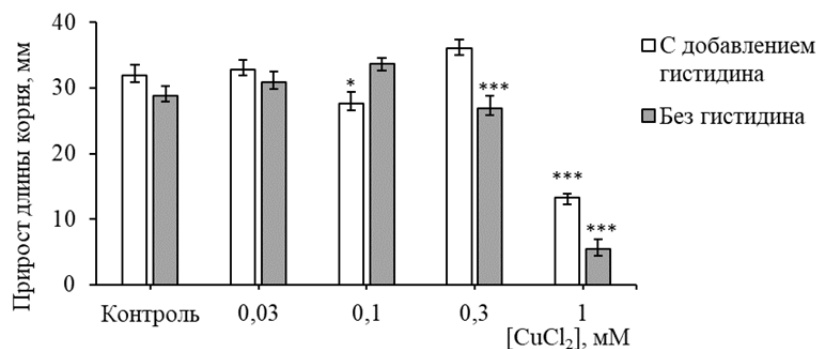
**Материалы и методы.** В работе использовался модельный объект – растения *Arabidopsis thaliana*, конститутивно экспрессирующие экворин. Семена стерилизовались 15 мин в 20% «Domestos», промывались стерильной  $\text{dH}_2\text{O}$  и высаживались в чашки Петри. Для культивирования использовалась полная среда Мурасиге и Скуга, содержащая 1 % сахарозы и 0,35 % Gelrite (pH 6,0). После посева чашки помещали на стратификацию при +4°C на 48 ч, затем переносились в климатическую камеру с контролируемым освещением (16 ч света и 8 ч темноты) и температурой (22°C) на 7–10 сут. Измерение  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  проводилось хемилюминиметрическим методом. Регенерация экворина осуществлялась путем 15 ч инкубации корней в растворе, содержащем 0,1 мМ  $\text{CaCl}_2$  и 4 мкг/мл целентерозина. После чего корни переносились в пробирки с 300 мкл 10 мМ раствора  $\text{CaCl}_2$  для 30 мин адаптации перед измерениями на люминометре Sirius 2 (Berthold). Тест-раствор ТМ (0,01–1 мМ) вводился на 120 с эксперимента. Остаточный экворин денатурировался 600 мкл 2 М  $\text{CaCl}_2$  в 20 % этаноле. Пролин, гистидин и малат вносились на стадии адаптации в концентрации 1 мМ.

**Результаты и их обсуждение.** При помощи метода кальций-эквиоринной люминометрии было показано, что ионы марганца и никеля в концентрациях 0,01–1 мМ не вызывали значительного повышения  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  в клетках корня *A. thaliana*, в то время как медь демонстрировала дозозависимое логарифмическое усиление кальциевой сигнатуры (рис. 1А). При добавлении к корням 0,01 мМ  $\text{CuCl}_2$  среднее пиковое значение  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  составило 0,11 мкМ, что в 2,9 раза выше контроля (0,04 мкМ  $\text{Ca}^{2+}$ ). При увеличении концентрации до 1 мМ  $\text{CuCl}_2$  кальциевый сигнал возрастал в 10 раз (0,41 мкМ  $\text{Ca}^{2+}$ ). При введении меди совместно с L-аскорбатом увеличение  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  было еще более выраженным. В случае цинка наблюдалась тенденция к увеличению  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{цит}}$  с ростом концентрации металла, однако достоверных различий по сравнению с контролем выявлено не было.



**Рисунок 1 – Изменение цитоплазматической активности кальция в корнях *A. thaliana* при обработке растворами меди. А – Среднее значение  $[Ca^{2+}]_{цит}$  при обработке различными концентрациями  $CuCl_2$  ( $X \pm Sx$ ,  $n=5-6$ ); Б – Эффект добавления экзогенных метаболитов (1 мМ Про, Гис, малата) на  $Ca^{2+}$ -сигнал, индуцированный 0,3 мМ  $CuCl_2$  ( $X \pm Sx$ ,  $n=5-6$ ). Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи теста ANOVA, где \* –  $p \leq 0,05$ , \*\* –  $p \leq 0,01$ , \*\*\* –  $p \leq 0,001$**

В ответ на повышение уровня ТМ многие растения синтезируют и экскретируют защитные молекулы, такие как пролин, гистидин, никотинамин и др. [4, 5]. В этом контексте особую актуальность приобретает исследование экзогенных метаболитов как потенциальных модуляторов  $Ca^{2+}$ -зависимых реакций клеток растений на медь-индуцированный стресс. В настоящей работе был протестирован эффект предобработки растений 1 мМ гистидина, пролина и малата (рис. 1Б). Добавление к корням *A. thaliana* гистидина и малата вызывало достоверное снижение амплитуды  $Ca^{2+}$ -пигов в 4–4,5 раза, что может быть обусловлено хелатированием свободных ионов  $Cu^{2+}$ , а также улучшением энергетического статуса клетки за счет усиления митохондриального дыхания и косвенной регуляцией активности  $Ca^{2+}$ -АТФаз. В то же время пролин не выявил значимых изменений параметров  $Ca^{2+}$ -сигнала (рис. 1Б).



**Рисунок 2 – Эффект добавления 1 мМ гистидина на изменение длины корня *A. thaliana* при выращивании на среде с хлоридом меди ( $X \pm Sx$ ,  $n = 10-12$ ). Стрессоры вводились на 5-е сут культивирования с использованием техники замены среды, длина корня измерялась на 10-е сут. Достоверность различий рассчитывалась по отношению к контролю при помощи ANOVA-теста: \* –  $p \leq 0,05$ , \*\* –  $p \leq 0,01$ , \*\*\* –  $p \leq 0,001$**

Гистидин также оказывал протекторное действие на рост корней арабидопсиса при выращивании на среде с повышенными уровнями меди (рис. 2). Длина корня увеличивалась примерно на 20%. Таким образом, среди протестированных ТМ наибольший эффект на систему  $Ca^{2+}$ -сигнализации *A. thaliana* оказала медь, что вероятно связано с ее высокой редокс-активностью. Добавление хелаторов, таких как гистидин, снижало  $Ca^{2+}$ -сигнал и оказывало ростостимулирующее действие при обработке растений повышенными уровнями  $Cu^{2+}$ , что может иметь большое практическое значение.

Работа была выполнена в рамках задания ГПНИ «Исследование мембранных механизмов модификации ростовых, сигнальных и транспортных процессов в клетках корня при взаимодействии высших растений с редокс-активными тяжелыми металлами», № ГР 20241163; а также грантов БРФФИ Б25КИ-086 «Установление механизмов снижения токсичности тяжелых металлов в высших растениях под действием квантовых точек, содержащих микроэлементы» и Б24-060-1 «Роль транспортеров малата в устойчивости высших растений к высоким уровням тяжелых металлов и алюминия в среде».

#### Список литературы

1. Толкач, Г. В. Содержание химических элементов в почвах на территории фермерских (крестьянских) хозяйств Брестского района / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // Экологический вестник: научно-практический журнал. – 2015. – № 3(33). – С. 79–88.
2. Результаты наблюдений НСМОС, 2024 г. [Электронный ресурс] // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – URL: <https://www.nsmos.by/publikacii/2024> (дата обращения: 30.07.2025).
3. A Comprehensive Review on the Heavy Metal Toxicity and Sequestration in Plants / R. Riyazuddin, N. Nisha, B. Ejaz [et al.] // Biomolecules. – 2022. – Vol. 12, № 1. – Art. 43.
4. L-histidine makes  $Ni^{2+}$  'visible' for plant signalling systems: Shading the light on  $Ni^{2+}$ -induced  $Ca^{2+}$  and redox signalling in plants / V. Mackievic [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2025. – Vol. 220. – Art. 109227.
5. Seregin, I. V. Low-molecular-weight ligands in plants: role in metal homeostasis and hyperaccumulation / I. V. Seregin, A. D. Kozhevnikov // Photosynth Res. – 2021. – Vol. 150. – P. 51–96.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКОБИОТЫ БЕЛОРУССКОЙ СТАНЦИИ «ГОРА ВЕЧЕРНЯЯ» (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)**

Карманова В. В.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: veronikarmanova@gmail.com

*Изучено видовое разнообразие микромицетов на субстратах естественного и искусственного происхождения, изолированных из окрестностей белорусской станции «Гора Вечерняя» (оазис Холмы Тала, Восточная Антарктида). Проведен таксономический анализ, выявлены доминирующие отделы, порядки и роды грибов, установлены особенности роста выделенных изолятов в разных температурных условиях.*

**Введение.** «Гора Вечерняя» – это белорусская антарктическая станция, расположенная в оазисе Холмы Тала, в западной части Земли Эндерби, Восточная Антарктида (67°39' ю. ш., 46°10' в. д.). Суровые климатические условия в оазисе, такие как низкие температуры, высокий уровень ультрафиолетового излучения, постоянные циклы замораживания и оттаивания, низкая доступность свободной воды, нехватка питательных веществ, а также отсутствие высших растений создают неблагоприятные условия для развития местной микобиоты. Однако грибы, обладая широким спектром экологических и физиологических адаптаций, способны колонизировать все доступные субстраты в районе станции [3].

**Материалы и методы.** Материал для исследования видового разнообразия грибов предоставлен ведущим научным сотрудником Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам, к.б.н. Ю. Г. Гигиняком. Образцы проб отбирались согласно общепринятым методикам с соблюдением условий стерильности.

Идентификация изолятов проводилась с помощью микроскопии и методов молекулярной биологии. При идентификации по культурально-морфологическим признакам видовая принадлежность и таксономические особенности устанавливались по определителям для разных групп грибов [1, 4, 7, 11, 13].

Для определения отдельных изолятов грибов, не образующих споронии в культуре, применяли молекулярно-генетические методы. В качестве маркерной последовательности исследовали ITS-район (Internal Transcribed Spacer region, область внутреннего транскрибируемого спейсера), как универсальный штрих-код для грибов (основной маркер вида) [5, 6, 10]. Секвенирование по Сэнгеру выполнялось в Центре коллективного пользования «Геном» Института генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси.

**Результаты исследования.** Наибольшее видовое разнообразие отмечено для отдела Ascomycota. Преобладание грибов данного отдела установлено не только для оазиса Холмы Тала, но и для всей Антарктиды [8, 9, 12]. Кроме того, большинство обнаруженных видов – это микромицеты с конидиальным споронием (рис. 1). Данную группу грибов выделяют в отдел Deuteromycota (Несовершенные грибы). В своем происхождении несовершенные грибы связаны с сумчатыми и реже с базидиальными грибами. Преобладание анаморфных грибов позволяет предположить, что упрощение жизненного цикла, в виде отсутствия телеоморфной стадии, дает Несовершенным грибам преимущество при колонизации антарктических субстратов в условиях нехватки питательных веществ и низких температур. Представителей отдела Basidiomycota значительно меньше, что обусловлено практически полным отсутствием высших растений. Низкое разнообразие Mucoromycota объясняется, вероятно, особенностями строения их ценоцитарного мицелия, который более уязвим к механическим повреждениям и подвержен быстрому обезвоживанию ввиду отсутствия септ [8, 9].

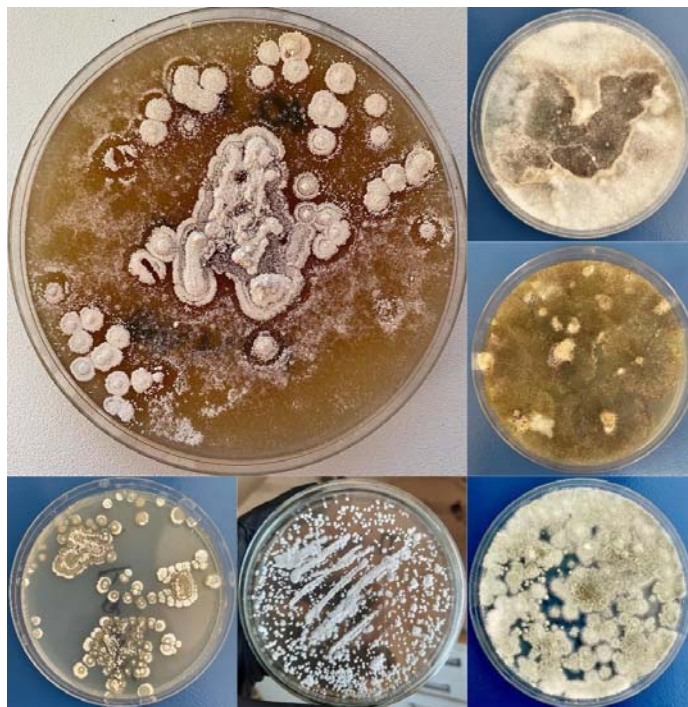


Рисунок 1 – Антарктические штаммы микромицетов из коллекции MSK-F Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси

В результате таксономического анализа установлено, что ведущими порядками являлись Eurotiales, Hypocreales и Pleosporales [2].

В почвах доминировали микромицеты из родов *Penicillium*, *Acremonium*, *Pseudogymnoascus*. Субстраты животного происхождения, представленные перьями и костями птиц, характеризовались преобладанием микромицетов из родов *Pseudogymnoascus*, *Thelebolus* и *Chaetomium*. На субстратах растительного происхождения (мхи и лишайники) доминировали представители родов *Phoma*, *Cadophora*, *Penicillium*. Для субстратов искусственного происхождения (древесина, пластик, текстиль) отмечена частая встречаемость микромицетов из родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* [3].

Установлено, что большинство изолятов обладали способностью к росту в широком диапазоне температур (от +5°C до +23°C). Такие микромицеты называют психротолерантными (психротрофными). Для их роста предпочтительны высокие температуры (в районе +20 °C и выше), однако они способны выживать и при околонулевых температурах. Доля истинных психрофилов, имеющих температурный оптимум в районе +10°C, была очень низка (около 12% от все изолятов).

Закключение. В результате проведенных исследований установлено, что микобиота в районе станции «Гора Вечерняя» формируется в основном за счет космополитных видов с высоким адаптивным потенциалом. Большинство изолятов – это анаморфные грибы, обладающими способностью к росту при температурах от +5°C до +23°C. Дальнейшее изучение разнообразия микромицетов Антарктиды позволит раскрыть особенности адаптационных механизмов у эукариотических организмов к экстремальным факторам среды, а также расширить представление о роли грибов в экстремальных экосистемах. Прикладной аспект изучения антарктических микромицетов заключается в поиске психрофильных и психротолерантных видов с высоким биотехнологическим потенциалом.

#### Список литературы

1. Билай, В. И. Определитель токсинообразующих грибов / В. И. Билай, З. А. Курбацкая. – Киев : Наукова думка, 1990. – 236 с.

2. Карманова, В. В. Видовой состав микромицетов станций «Прогресс», «Новолазаревская», «Гора Вечерняя» (Восточная Антарктида) / В. В. Карманова // Весці Нацыянальнага акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 114–123.
3. Карманова, В. В. Таксономическое разнообразие и биотехнологический потенциал микромицетов Восточной Антарктиды / В. В. Карманова // Ботаника (Исследования). – 2024. – № 54. – С. 266–279.
4. Литвинов, М. А. Определитель микроскопических почвенных грибов / М. А. Литвинов. – Л. : Наука, 1967. – 303 с.
5. Юрченко, Е. О. Основы молекулярного маркирования грибной ДНК. Практическое руководство / Е. О. Юрченко, М. Г. Синявская. – Минск : Право и экономика, 2007. – 101 с.
6. Hirata, T. Nucleotide sequence diversity of rDNA internal transcribed spacers extracted from conidia and cleistothecia of several powdery mildew fungi / T. Hirata, S. Takamatsu // Mycoscience. – 1996. – Т. 37, № 3. – С. 283–288.
7. Mycobank. – URL: <https://www.mycobank.org/Simple%20names%20search> (дата обращения: 08.05.2025).
8. Кирцидели, И. Ю. Почвообитающие микроскопические грибы в экосистемах Арктики и Антарктики: дисс. ... докт. биол. наук (03.02.12.). дисс. ... докт. биол. наук / И.Ю. Кирцидели. – СПб, 2019. – 459 с.
9. Никитин, Д. А. Экологические особенности грибов Антарктиды / Д. А. Никитин // Mikologiya i fitopatologiya. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 79–104.
10. BLAST. – URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (date of access: 05.08.2025).
11. Domsch, K. H. Compendium of soil fungi / K. H. Domsch, W. Gams, T.-H. Anderson. – 2th ed. – Germany : IHW-Vergal Eching, 2007. – 672 p.
12. Fungi of Antarctica: Diversity, Ecology and Biotechnological applications. Fungi of Antarctica / L. H. Rosa, C. L. Zani, C. L. Cantrell [et al.] ; ed. by L.H. Rosa. – Cham : Springer International Publishing, 2019. – 345 p.
13. Index Fungorum. – URL: <https://www.indexfungorum.org/names/names.asp> (date of access: 05.08.2025).

## САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ХВОЙНЫХ Г. КОБРИНА

Козаков И. С., Левковская М. В.

УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», г. Брест, Республика Беларусь  
e-mail: lemarivik@mail.ru

В работе изложены краткие результаты исследований санитарного состояния хвойных, произрастающих на улицах Дзержинского, Дружбы, 700-летия Кобрина, Интернациональная, Ленина, Пушкина г. Кобрина. Средний коэффициент состояния хвойных на исследованных улицах составил 1,13–1,93 балла, относительное жизненное состояние – 72,22–96,04 %.

В настоящее время возрастает многофункциональное значение зеленых насаждений для урбанизированных территорий. Городские насаждения выполняют эстетическую, психоэмоциональную, рекреационную, санитарно-гигиенические и микроклиматические функции [3]. Однако в условиях урбанизированной среды растения подвергаются техногенной и антропогенной нагрузке, в результате снижается уровень жизнеспособности древесной растительности и ее средообразующая функция [1].

Цель работы – оценить санитарное состояние хвойных в составе древесных насаждений г. Кобрина.

Для оценки санитарного состояния хвойных, произрастающих на улицах Дзержинского, Дружбы, 700-летия Кобрина, Интернациональная, Ленина, Пушкина г. Кобрина, в 2023–2024 гг. проводили сплошной учет деревьев и кустарников класса *Pinopsida* с определением категории состояния в баллах по комплексу морфологических признаков (степень дефолиации кроны, величина прироста, повреждения кроны и ствола) [4–6]. Для каждого вида рассчитывали коэффициент состояния ( $K_j$ ) в баллах [2, 6], величину относительного жизненного состояния в процентах ( $L_n$ ) [4], затем оценивали санитарное состояние хвойных на исследованных улицах по общепринятым шкалам [2, 4, 6].

В составе древесных насаждений вышеперечисленных улиц г. Кобрина зарегистрированы 114 древесных растений 12 видов хвойных, принадлежащих к шести родам (*Picea* A. Dietr., *Pinus* L., *Thuja* L., *Biota* (D. Don) Endl., *Juniperus* L., *Chamaecyparis* Spach.), семействам *Pinaceae*, *Cupressaceae*. Доля представителей семейства *Cupressaceae* составляет 66,67 %.

Результаты исследований санитарного состояния хвойных, произрастающих на улицах Дзержинского, Дружбы, 700-летия Кобрина, Интернациональная, Ленина, Пушкина г. Кобрина, а также распределение древесных растений по категориям состояния представлены в таблице.

Доля здоровых деревьев и кустарников класса *Pinopsida*, не имеющих признаков повреждения и ослабления (67 экземпляров), равна на ул. Пушкина – 37,5 %, ул. Интернациональной – 50 %, ул. Дзержинского – 52,17 %, ул. 700-летия Кобрина, ул. Ленина – 52,94 %, ул. Дружбы – 88 % от общего числа хвойных на каждой из исследованных улиц. Доля хвойных без признаков ослабления составила менее 50 % только на ул. Пушкина.

Доля хвойных с признаками ослабления варьирует в диапазоне от 12 % (ул. Дружбы) до 35,3 % (ул. Ленина), на остальных улицах отличается незначительно и составляет 25 % (ул. Пушкина), 29,17 % (ул. Интернациональная), 29,41 % (ул. 700-летия Кобрина), 30,44 % (ул. Дзержинского). Ко II категории состояния отнесены 30 растений, из них – 16 экземпляров *Thuja occidentalis* (53,33 %).

Количество сильно ослабленных деревьев и кустарников III категории состояния составило на ул. Ленина – 5,88 %, ул. Дзержинского – 17,39 %, ул. 700-летия Кобрина – 17,65 %, ул. Интернациональной – 20,83 %, ул. Пушкина – 25 %. К этой категории отнесены

*Picea pungens* (5 экз.), *Thuja occidentalis* (5 экз.), *Pinus strobus* (2 экз.), *Juniperus communis* (1 экз.), *Juniperus squamata* (1 экз.), *Pinus sylvestris* (1 экз.).

Таблица – Санитарное состояние хвойных некоторых улиц г. Кобрин

| Улицы             | Вид                                            | Число растений | Распределение деревьев по категориям состояния, экз. |                   |                   |                  |   |   | K <sub>п</sub> , балл  | L <sub>п</sub> , %      |
|-------------------|------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---|---|------------------------|-------------------------|
|                   |                                                |                | 1                                                    | 2                 | 3                 | 4                | 5 | 6 |                        |                         |
| Держинского       | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 2              | 2                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 7              | 2                                                    | 1                 | 4                 | 0                | 0 | 0 | 2,29                   | 61,43                   |
|                   | <i>Juniperus communis</i> L.                   | 2              | 1                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,5                    | 85                      |
|                   | <i>Juniperus sabina</i> L.                     | 2              | 2                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Juniperus scopulorum</i> Sarg.              | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 9              | 4                                                    | 5                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,56                   | 83,33                   |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 23             | $\frac{12}{52,17}$                                   | $\frac{7}{30,44}$ | $\frac{4}{17,39}$ | 0                | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,39 | L <sub>ср</sub> = 88,29 |
| Дружбы            | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 5              | 5                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 3              | 3                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Pinus sylvestris</i> L.                     | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Juniperus communis</i> L.                   | 8              | 7                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,13                   | 96,25                   |
|                   | <i>Juniperus scopulorum</i> Sarg.              | 2              | 1                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,5                    | 85                      |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 6              | 5                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,17                   | 95                      |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 25             | $\frac{22}{88}$                                      | $\frac{3}{12}$    | 0                 | 0                | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,13 | L <sub>ср</sub> = 96,04 |
| 700-летия Кобрин  | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 3              | 3                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Pinus sylvestris</i> L.                     | 1              | 0                                                    | 0                 | 1                 | 0                | 0 | 0 | 3                      | 40                      |
|                   | <i>Juniperus communis</i> L.                   | 1              | 0                                                    | 0                 | 1                 | 0                | 0 | 0 | 3                      | 40                      |
|                   | <i>Juniperus squamata</i> Buch.-Ham. ex D. Don | 2              | 1                                                    | 0                 | 1                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 9              | 4                                                    | 5                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,56                   | 83,33                   |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 17             | $\frac{9}{52,94}$                                    | $\frac{5}{29,41}$ | $\frac{3}{17,65}$ | 0                | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,93 | L <sub>ср</sub> = 72,22 |
| Интернациональная | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 1              | 0                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Pinus strobus</i> L.                        | 3              | 1                                                    | 0                 | 2                 | 0                | 0 | 0 | 2,33                   | 60                      |
|                   | <i>Biota orientalis</i> (L.) Endl.             | 3              | 1                                                    | 2                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,67                   | 80                      |
|                   | <i>Juniperus communis</i> L.                   | 1              | 0                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Juniperus sabina</i> L.                     | 2              | 2                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Juniperus scopulorum</i> Sarg.              | 1              | 0                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 12             | 7                                                    | 2                 | 3                 | 0                | 0 | 0 | 1,67                   | 80                      |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 24             | $\frac{12}{50}$                                      | $\frac{7}{29,17}$ | $\frac{5}{20,83}$ | 0                | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,71 | L <sub>ср</sub> = 78,75 |
| Ленина            | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 1              | 0                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 6              | 1                                                    | 3                 | 1                 | 1                | 0 | 0 | 2,33                   | 59,17                   |
|                   | <i>Pinus sylvestris</i> L.                     | 1              | 0                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 2                      | 70                      |
|                   | <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (Murr.) Parl.  | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Juniperus virginiana</i> L.                 | 6              | 6                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 2              | 1                                                    | 1                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1,5                    | 85                      |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 17             | $\frac{9}{52,94}$                                    | $\frac{6}{35,3}$  | $\frac{1}{5,88}$  | $\frac{1}{5,88}$ | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,64 | L <sub>ср</sub> = 80,70 |
| Пушкина           | <i>Picea abies</i> (L.) Karst.                 | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Picea pungens</i> Engelm.                   | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Juniperus virginiana</i> L.                 | 1              | 1                                                    | 0                 | 0                 | 0                | 0 | 0 | 1                      | 100                     |
|                   | <i>Thuja occidentalis</i> L.                   | 5              | 0                                                    | 2                 | 2                 | 1                | 0 | 0 | 2,8                    | 45                      |
|                   | Общее количество ( $\frac{\text{экз.}}{\%}$ )  | 8              | $\frac{3}{37,5}$                                     | $\frac{2}{25}$    | $\frac{2}{25}$    | $\frac{1}{12,5}$ | 0 | 0 | K <sub>ср</sub> = 1,45 | L <sub>ср</sub> = 86,25 |

Хвойные с признаками усыхания зарегистрированы в количестве одного растения *Thuja occidentalis* на ул. Пушкина и одного дерева *Picea pungens* на ул. Ленина.

В составе древесных насаждений исследованных улиц г. Кобрин по количеству особей доминируют следующие виды: *Thuja occidentalis* (43), *Picea pungens* (19), *Picea abies* (13), *Juniperus communis* (12), долевое участие которых составляет 37,72 %, 16,67 %, 11,40 % и 10,53 % от общего количества учтенных хвойных.

Состояние *Thuja occidentalis* (43 экз.) оценивается практически в равном соотношении как здоровое (21 экз.) и ослабленное (16 экз.), что составляет 48,84 % и 37,21 %. К сильно ослабленным относятся пять растений туи западной (11,63 %) на ул. Пушкина и ул. Интернациональная.

Следует отметить, что 75,86 % представителей р. *Juniperus* не имеют признаков ослабления: *Juniperus communis* (8 экз.), *Juniperus virginiana* (7 экз.), *Juniperus sabina* (4 экз.), *Juniperus scopulorum* (2 экз.), *Juniperus squamata* (1 экз.). Признаки повреждения различной степени описаны у 24,14 % растений: *Juniperus communis* (4 экз.), *Juniperus scopulorum* (2 экз.), *Juniperus squamata* (1 экз.).

Среди зарегистрированных 19 деревьев *Picea pungens* на исследованных улицах к здоровым относятся 47,37 %, к ослабленным и сильно ослабленным – 21,05 % и 26,32 %. Состояние 84,62 % деревьев *Picea abies* оценивается в 1 балл, 15,38 % – 2 балла (по 1 экз. – ул. Интернациональная, ул. Ленина).

Средний коэффициент состояния хвойных деревьев и кустарников варьирует от 1,13 балла (ул. Дружбы) до 1,93 балла (ул. 700-летия Кобрин), средняя величина относительного жизненного состояния – от 96,04 % (ул. Дружбы) до 78,75 % (ул. Интернациональная) и 72,22 % (ул. 700-летия Кобрин). Жизненное состояние отдельных видов изменяется в пределах от 100 % до 40 %.

Полученные данные позволяют отнести насаждения хвойных на ул. Дружбы ( $K_j = 1,13$ ,  $L_n = 96,04$  %), ул. Дзержинского ( $K_j = 1,39$ ,  $L_n = 88,29$  %), ул. Пушкина ( $K_j = 1,45$ ,  $L_n = 86,25$  %) к категории здоровых; на ул. Интернациональная ( $K_j = 1,71$ ,  $L_n = 78,75$  %) и 700-летия Кобрин ( $K_j = 1,93$ ,  $L_n = 72,22$  %) – к категории ослабленных. Следует отметить невысокую степень повреждения. Средний коэффициент состояния хвойных на ул. Ленина равен 1,64 балла (ослабленные растения), но при рассчитанном показателе 80,70 % жизненное состояние оценивается как здоровое.

По результатам исследований санитарного состояния хвойных, произрастающих на улицах Дзержинского, Дружбы, 700-летия Кобрин, Интернациональная, Ленина, Пушкина г. Кобрин, к категории здоровых растений без признаков ослабления относятся 58,77 % деревьев и кустарников, к категориям ослабленных и сильно ослабленных растений – 26,32 % и 13,16 %, к усыхающим – 1,75 %. Средний коэффициент состояния хвойных деревьев и кустарников равен 1,54 балла (1,13–1,93), показатель относительного жизненного состояния – 83,70 % (72,22–96,04 %), что характеризует состояние насаждений преимущественно как здоровое.

#### Список литературы

1. Аношкина, Л. В. Состояние древесных пород в урбанизированной среде г. Братска: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Аношкина Людмила Владимировна; Братский государственный университет. – Владивосток, 2011. – 20 с.
2. Карпенко, А. Д. Оценка состояния древостоев, находящихся под воздействием промышленных эмиссий / А. Д. Карпенко // Экология и защита леса: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1981. – Вып. 6. – С. 39–43.
3. Кулакова, С. А. Оценка состояния зеленых насаждений города / С. А. Кулакова // Географический вестник. – 2012. – № 4 (23). – С. 59–66.
4. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В. А. Алексеева. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.
5. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесн. хозяйства Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 79 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631603>.
6. Экологический мониторинг: учеб.-метод. Пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – Изд. 4-е. – М.: Акад. Проект; Альма Матер, 2008. – 416 с.

## ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО МИКРОЗЕЛЕНИ БОРАГО, ПАЖИТНИКА, ПОДСОЛНЕЧНИКА И РЕДИСА В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ

Левкин И. А., Шерудило Е. Г., Рубаева А. А., Нилова И. А., Шибаева Т. Г.

ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Институт биологии, г. Петрозаводск,  
Российская Федерация  
e-mail: levkin-556@mail.ru

На примере микрозелени четырех видов растений (бораго, пажитник, подсолнечник и редис) показано, что укороченные аномальные свето-темновые циклы могут применяться для повышения энергоэффективности производства культур с непродолжительным продукционным циклом в закрытых системах с искусственным освещением. Экономия затрат на электроэнергию достигается за счет изменения распределения интеграла дневного освещения в суточном цикле. Режим освещения 7 ч свет/4 ч темнота/9 ч свет/4 ч темнота с учетом периодов пиковых и полупиковых нагрузок позволяет сократить затраты на освещение на 32%.

Поиски решений, направленных на повышение эффективности производства растительной с/х продукции в закрытых системах с искусственным освещением, сохраняют высокую актуальность, поскольку их более широкое использование лимитировано ценами на электроэнергию, расходы на которую составляют наибольшую часть в общей стоимости продукции. На вертикальных фермах имеется возможность не только регулировать любой из трех световых параметров (интенсивность, спектральный состав и фотопериод), но и изменять распределение интеграла дневного освещения (суммарного количества фотонов, получаемых растением за сутки) во времени, так как в закрытых системах нет необходимости привязываться к суточному 24 ч циклу смены дня и ночи. Манипуляции со световым режимом считаются наиболее перспективными в плане повышения энергоэффективности производства, т.к. именно с ним связаны основные затраты на энергопотребление.

В работе изучали влияние аномального свето-темнового цикла (СТЦ) (7/4/9/4 ч, а именно 7 ч свет (10.00–17.00) /4 ч темнота (17.00–21.00) /9 ч свет (21.00–6.00) /4 ч темнота (6.00–10.00)) на урожайность и пищевую ценность микрозелени четырех популярных коммерческих видов из разных семейств – бораго (*Borago officinalis* L.) (сем. Boraginaceae), пажитника (*Trigonella foenum-graecum* L.) (сем. Fabaceae), подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) (сем. Asteraceae) и редиса (*Raphanus sativus* L. var. *radicula*) (сем. Brassicaceae) (рис. 1). Микрозелень выращивали в инкубаторе Biobase BJPX-RG-P160C (Китай) на ковриках из агроваты при температуре 22°C, влажности воздуха 70%, освещенности 150 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) (светодиодные светильники). Контрольные растения выращивали при фотопериоде 16/8 ч. Время для световых и темновых фаз аномального СТЦ выбрано с учетом периодов пиковых, полупиковых и ночных зон (по тарифу, дифференцированному по трем зонам) с целью сократить затраты на электроэнергию. Интеграл дневного освещения (ИДО) был одинаковым (8.6 моль/(м<sup>2</sup>сут)) у растений в обоих вариантах светового режима. Растения выращивали до готовности к сбору урожая – 6 дней редис, 10 дней подсолнечник и 12 дней бораго и пажитник.

Опыты показали, что использованный «экономичный» аномальный СТЦ не оказал значимого влияния на урожайность микрозелени бораго, пажитника и подсолнечника и увеличил урожайность (г сыр веса/см<sup>2</sup>) редиса на 10 %. У всех четырех культур в условиях аномального СТЦ показатели пищевой ценности (содержание питательных веществ – белка, растворимых углеводов и веществ с антиоксидантными свойствами – хлорофилла, каротиноидов, антоцианов, флавоноидов, пролина, аскорбиновой кислоты) не отличались от контроля, за исключением увеличения содержания растворимых углеводов в микрозелени редиса. Внешних признаков фотоповреждений не было. Не было выявлено и признаков

окислительного стресса при оценке содержания перекиси водорода, интенсивности перекисного окисления липидов и проницаемости мембран по относительному выходу электролитов. Активность ферментов антиоксидантной системы характеризовалась выраженной видоспецифичностью. Так, у подсолнечника в условиях аномального СТЦ активность супероксиддисмутазы была выше на 80%, а гваякол-пероксидазы – в 2.2 раза по сравнению с контролем. У бораго, пажитника и редиса активность гваякол-пероксидазы была также на 60, 10 и 30% выше в условиях аномального СТЦ. Полученные результаты означают, что все изученные виды растений в течение продукционного периода были устойчивы к циркадной асинхронии (несоответствию между внутренними ритмами растения и внешними циклами света и темноты).

С учетом того, что тарифы на электроэнергию в пиковой и полупиковой зонах в 4 и 2.5 раза выше по сравнению с ночной зоной, стоимость суточного потребления электроэнергии при применении аномального СТЦ была снижена по сравнению с фотопериодом 16/8 ч на 32%. Следовательно, при выращивании культур с непродолжительным продукционным циклом, обладающих устойчивостью к циркадной асинхронии, применение аномального укороченного СТЦ 7/4/9/4 ч со временем световых и темновых фаз, подобранным с учетом периодов пиковых, полупиковых и ночных зон, позволяет значительно повысить энергоэффективность производства, сократив затраты на освещения при условии сохранения интеграла дневного освещения, необходимого для получения урожая высокого качества.



Рисунок 1 – Микрозелень (сверху вниз) бораго (*Borago officinalis*), пажитника (*Trigonella foenum-graecum*), подсолнечника (*Helianthus annuus*) и редиса (*Raphanus sativus* var. *radicula*), выращенная в условиях фотопериода 16/8 ч (слева) и аномального светo-темнoвого цикла (7/4/9/4 ч) (справа)

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

**ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* ГИНКГО ДВУЛОПАСТНОГО  
(*GINKGO BILOBA* L.)**

Лосев Е. Л., Дитченко Т. И.

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: evgenijlosev756@gmail.com

*Разработан эффективный режим стерилизации листовых эксплантов Ginkgo biloba L. для введения в культуру in vitro. Протестировано 4 комбинации 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и 6-бензиламинопурина в концентрациях 1,0–2,0 мг/л с целью установления наиболее оптимальных условий для индукции каллусогенеза. Получена первичная каллусная культура Ginkgo biloba L. Каллусная ткань характеризовалась рыхлой консистенцией, умеренной оводнённостью, отсутствием пигментации.*

Биотехнологические способы сохранения генофонда редких и исчезающих видов растений основаны на применении метода культуры клеток, тканей и органов растений. Для этих целей могут быть использованы каллусные и суспензионные культуры клеток, культуры апикальных меристем, адвентивных побегов и генетически трансформированных корней, соматические и зиготические эмбриониды, культивируемые в строго контролируемых условиях на искусственных питательных средах [1]. Методические подходы, используемые для решения проблемы сохранения генофонда, базируются на культивировании *in vitro* растительных объектов без изменения ростовых процессов либо их поддержании в условиях замедления роста вплоть до полной его остановки. В первом случае создаются и поддерживаются пересадочные коллекции, во втором производится депонирование коллекций либо криосохранение растительных клеток и тканей. Основными преимуществами биотехнологических приемов является независимость от географических, климатических, сезонных и погодных условий, экономия площадей, возможность длительного сохранения уникального генетического растительного материала, оздоровленного от бактериальной и грибной инфекции [2]. Одной из наиболее известных мировых коллекций является Всероссийская коллекция культур клеток высших растений, в которой поддерживаются в активном состоянии 47 линий культур клеток 29 видов высших растений, из них 19 линий поддерживаются в виде каллусных культур и 32 линии в виде суспензионных культур [3]. Коллекция культур клеток высших растений представлена модельными объектами для фундаментальных исследований по физиологии растений, штаммами-продуцентами биологически активных соединений, линиями редких и эндемичных видов растений. Каждый коллекционный образец содержит описание, включающее информацию о происхождении объекта, его морфологических особенностях, условиях культивирования, условиях пролонгированного хранения, маркерных признаках, спектре вторичных метаболитов штаммов-продуцентов и др.

Независимо от способа сохранения генофонда начальным этапом технологии является введение растительных объектов в культуру *in vitro*. Данный этап предполагает проведение асептической обработки растительных эксплантов и создание условий для поддержания их жизнеспособности *in vitro*. Поверхностная стерилизация растительного материала достигается путем использования различных антисептиков. Стерилизующий агент должен эффективно уничтожать эпифитную микрофлору на поверхности эксплантов, при этом минимально повреждать растительные ткани. Решение данной задачи базируется на тщательном подборе типа антисептика, его концентрации и продолжительности обработки растительного материала. В дальнейшем простерилизованные растительные экспланты могут быть использованы для получения культур недифференцированных растительных клеток (каллусных и суспензионных) либо индукции процессов морфогенеза. Целью настоящей работы явилась разработка эффективного режима стерилизации эксплантов реликтового вида

*Ginkgo biloba* L. и установление оптимальных комбинаций синтетических регуляторов роста для индукции каллусогенеза.

Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) – единственный сохранившийся вид семейства *Ginkgoaceae*. Это растение привлекает внимание ученых благодаря своему богатому биохимическому составу, включающему флавоноиды (флавонолгликозиды, бифлавоны, проантоцианидины и изофлавоноиды), терпеноиды (гинкголиды и билобалиды), а также другие биологически активные соединения [4-5]. Препараты на основе *Ginkgo biloba* широко используются в медицине, поскольку характеризуются антиоксидантным, противовоспалительным, нейропротекторным, кардиопротекторным действием и другими терапевтическими свойствами. Особое внимание уделяется изучению антиоксидантной активности экстрактов гинкго, так как именно эта характеристика имеет ключевое значение для профилактики и лечения многих заболеваний, связанных с окислительным стрессом, включая нейродегенеративные и сердечно-сосудистые патологии [6-7]. Таким образом, разработка эффективных подходов к культивированию *Ginkgo biloba* в условиях *in vitro* позволяет не только сохранять природные ресурсы данного растения, но и решать проблему использования растительного сырья для получения стандартизированных фармацевтических субстанций с заданными свойствами.

В настоящей работе для введения гинкго билоба в культуру *in vitro* источником эксплантов служили двухлетние саженцы. Были использованы листовые пластинки, изолированные в разные вегетационные периоды – в мае и июле. В качестве стерилизующего агента использовалось средство «Domestos», дезинфицирующие свойства которого обусловлены содержанием гипохлорита натрия, неионогенных и анионных поверхностно-активных веществ. Процедура стерилизации включала три этапа. На этапе предварительной стерилизации листья промывали проточной водой, затем в течение 5 мин помещали в слабо-розовый раствор  $\text{KMnO}_4$ , после чего на 1 мин погружали в 70%-ный раствор этанола. На этапе собственно стерилизации предварительно простерилизованные листовые пластинки обрабатывали в условиях ламинар-бокса 25%-ным раствором «Domestos» (разбавление стерильной водой в соотношении 1:3). Было протестировано 4 режима стерилизации, которые отличались по продолжительности воздействия дезинфицирующего агента: 5, 10, 15 и 20 мин. Постстерилизация включала тщательную отмывку растительного материала от антисептика с помощью нескольких порций стерильной дистиллированной воды. Простерилизованные листья гинкго билоба использовали для изоляции эксплантов. Для этого с помощью скальпеля разрезали листовые пластинки на 4–5 частей, предварительно отделяли черешки, которые также использовали для индукции каллусогенеза. Изолированные экспланты в асептических условиях переносили на чашки Петри с агаризованной безгормональной средой по прописи Мурасиге и Скуга (МС), включающей 30 г/л сахарозы [8]. Количество полученных эксплантов для каждого режима стерилизации составляло не менее 50 штук. Контроль контаминации проводили через 3–5 суток после проведения антисептической обработки.

Установлено, что независимо от продолжительности инкубации эксплантов в растворе «Domestos» эффективность стерилизации составляла 100 %. Развитие бактериальной либо грибной инфекции не было зарегистрировано ни для одного опытного варианта. При этом экспланты сохраняли типичную ярко-зеленую окраску, что свидетельствовало об отсутствии внешних признаков окислительного стресса, вызванного механическим поранением. Полученные данные указывают, что для достижения эффективной стерилизации молодых листьев гинкго двулопастного достаточно 5-ти либо 10-ти минутной инкубации в 25%-ном растворе «Domestos».

На следующем этапе стерильные экспланты в условиях ламинар-бокса переносили на гормональные питательные среды МС. Поскольку для растительных клеток характерен двойной гормональный контроль деления в искусственных условиях каллусогенез протекает в присутствии в питательной среде ауксинов и цитокининов, которые контролируют разные

периоды клеточного цикла [9]. С целью получения первичного каллуса *Ginkgo biloba* в нашей работе питательные среды включали 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту (2,4-Д) в концентрациях 1,0–2,0 мг/л в качестве ауксина, а также 6-бензиламинопурин (БАП) в аналогичных концентрациях в качестве цитокинина. Всего было протестировано 4 варианта питательных сред, отличающихся соотношением 2,4-Д и БАП.

Процесс каллусогенеза включает два основных этапа: дедифференциацию растительных клеток, которая индуцируется механическим повреждением экспланта и обычно завершается в течение 24–72 часов, и пролиферацию дедифференцированных клеток, продолжительность которой для получения первичного каллуса составляет у разных объектов от 3 до 8 недель. Для гинкго двулопастного выраженные признаки каллусогенеза были зарегистрированы на раневой поверхности листовых эксплантов спустя 12–14 сут после их помещения на питательную среду МС, содержащую 30 мг/л сахарозы, 2,0 мг/л 2,4-Д и 2,0 мг/л БАП. Хорошие результаты также демонстрировали варианты питательной среды МС, включающие 1,0 мг/л 2,4-Д и 2,0 мг/л БАП либо 2,0 мг/л 2,4-Д и 1,0 мг/л БАП. Однако скорость формирования первичного каллуса для этих вариантов была ниже. Наименее пригодной комбинацией исследуемых регуляторов роста для индукции каллусогенеза у гинкго двулопастного оказалось сочетание 1,0 мг/л 2,4-Д и 1,0 мг/л БАП. Использование относительно невысоких концентраций 2,4-Д и БАП существенно тормозило процесс пролиферации клеток, приводящий к возникновению первичной каллусной ткани. Следует также отметить, что формирование каллуса протекало более интенсивно в случае листовых эксплантов, изолированных в начале вегетационного периода гинкго билоба, что подтверждает целесообразность использования ювенильного материала для введения растительных объектов в культуру *in vitro*.

В результате проведенного исследования получена каллусная культура *Ginkgo biloba*. Каллусная ткань характеризовалась рыхлой консистенцией, умеренной оводненностью, отсутствием пигментации. Субкультивирование каллусов осуществлялось через 5 недель после помещения эксплантов на гормональные питательные среды. В дальнейшем планируется оценка антирадикальной активности экстрактов на основе каллусной культуры *Ginkgo biloba* L. для установления возможности ее использования в качестве биотехнологического источника фармацевтических субстанций с высокой антиоксидантной активностью.

#### Список литературы

1. Спиридович, Е. В. Ботанические коллекции: документирование и биотехнологические аспекты использования / Е. В. Спиридович. – Мн. : Беларуская навука, 2015. – 226 с.
2. Rajasekharan, P. E. *In vitro* conservation of plant germplasm / P. E. Rajasekharan, L. Sahijram. In: Plant Biology and Biotechnology: Volume II: Plant Genomics and Biotechnology. B. Bahadur et al. (eds). 2015. – P. 417–443
3. Перспективные биотехнологии: коллекции культур клеток высших растений как основа разработки и производства лекарственных препаратов / Е. В. Попова [и др.] // Физиология растений. – 2021. – Т. 68, №3. – С. 227–244.
4. Biernacka, P. The potential of ginkgo biloba as a source of biologically active compounds – A review of the recent literature and patents / P. Biernacka, I. Adamska, K. Felisiak // Molecules. – 2023. – Vol. 28, № 10. – P. 3993–4047.
5. Ginkgo biloba: a treasure of functional phytochemicals with multimedicinal applications / Noor-E-Tabassum [et al.] // Evid Based Complement Alternat Med. – 2022. – Vol. 2022 – P. 8288818.
6. Neuroregulatory role of ginkgolides / M. Gachowska [et al.] // Mol Biol Rep. – 2021. – Vol. 48, № 7. – P. 5689–5697.
7. Radical scavenging potential of ginkgolides and bilobalide: insight from molecular modeling / D. Zeppilli [et al.] // Antioxidants (Basel). – 2023. – Vol. 12, № 2. – P. 525.
8. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, S. Skoog // Physiol. Plant. – 1962. – Vol. 15. – P. 473–479.
9. Ikeuchi M. Plant callus: mechanisms of induction and repression / M. Ikeuchi, K. Sugimoto, A. Iwase // The Plant Cell. – 2013. Vol. 25. – P. 3159–3173.

## ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА ВИЛЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ОКТЯБРЕ 2024 ГОДА

Петров В. Н., Романюк А. С.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: petrov.vl@tut.by, ali.romanyuk@yandex.ru

В пробе фитопланктона, отобранной в ноябре 2024 года в Вилейском водохранилище, было выявлено 38 видов диатомовых водорослей. По количеству видов преобладает бентосная группа (23.68 %), по относительному обилию – планктонная (89.88 %), по отношению к галобности – индифферентов (42.11 % и 95.01 %, соответственно), по отношению к водородному показателю воды – алкалифилов (42.11 % и 94.33 %, соответственно), по географической приуроченности – космополитов (52.63 % и 96.37 %, соответственно). Рассчитанный индекс сапробности составил 1.79, что соответствует 3-му разряду качества воды – «Достаточно чистая».

Диатомовые водоросли – одна из важных групп пресноводного фитопланктона, они служат первоначальным звеном в пищевых цепях многих организмов и играют существенную роль в продуктивности водоемов [6]. Вилейское водохранилище является искусственным водоемом, из которого осуществляется водоснабжение Минска [6,8].

Идентификацию видов проводили с использованием сведений из современных определителей [3,5,7]. Эколого-географические характеристики видов были приведены согласно справочной литературе [1, 2]. Виды и разновидности диатомей распределялись в соответствии с ситемой, размещенной на электронном ресурсе [www.algaebase.org](http://www.algaebase.org) [4].

Описанная в данной работе проба была отобрана 02.10.2024 в центральной части Вилейского водохранилища напротив д. Сосенка. Полученные нами гидрохимические характеристики воды составили: электропроводность – 302  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , pH – 7.3, t – 12.5°C, прозрачность – 0.5 м.

В пробе планктона, отобранной в октябре в Вилейском водохранилище, нами идентифицировано 38 видов диатомовых водорослей. Они относятся к 3 классам (*Coscinodiscophyceae*, *Mediophyceae* и *Bacillariophyceae*), 11 порядкам (*Achnanthales*, *Aulacoseirales*, *Bacillariales*, *Cymbellales*, *Fragilariales*, *Mastogloiales*, *Melosirales*, *Naviculales*, *Rhabdonematales*, *Stephanodiscales*, *Thalassiosiphysales*), 17 семействам (*Achnanthidiaceae*, *Amphipleuraceae*, *Anomoeoneidaceae*, *Aulacoseiraceae*, *Bacillariaceae*, *Catenulaceae*, *Cocconeidaceae*, *Cymbellaceae*, *Encyonemataceae*, *Fragilariaceae*, *Mastogloiaceae*, *Melosiraceae*, *Naviculaceae*, *Neidiaceae*, *Staurosiraceae*, *Stephanodiscaceae*, *Tabellariaceae*), 27 родам (*Achnanthidium*, *Amphora*, *Aneumastus*, *Anomoeoneis*, *Aulacoseira*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Cyclostephanos*, *Cyclotella*, *Cymbopleura*, *Diatoma*, *Encyonema*, *Fragilaria*, *Grunowia*, *Halamphora*, *Lindavia*, *Melosira*, *Navicula*, *Neidium*, *Placoneis*, *Planothidium*, *Platessa*, *Pseudostaurosira*, *Punctastriata*, *Staurosira*, *Staurosirella*, *Stephanodiscus*).

Наименее богатым по количеству видов (3) является класс *Coscinodiscophyceae*, отмеченный в пробе 2 порядками – *Aulacoseirales* и *Melosirales*, 2 одноименными семействами и родами. Вторым по количеству видов (6) является класс *Mediophyceae*, включающий 1 порядок – *Stephanodiscales* и 1 одноименное семейство, а также 4 рода – *Cyclotella*, *Cyclostephanos*, *Lindavia* и *Stephanodiscus*. Класс *Bacillariophyceae* самый многочисленный по числу таксонов рангом ниже рода – 29. Он включает в себя 8 порядков (*Achnanthales*, *Bacillariales*, *Cymbellales*, *Fragilariales*, *Mastogloiales*, *Naviculales*, *Rhabdonematales*, *Thalassiosiphysales*), 14 семейств и 32 рода.

Порядки *Cymbellales* и *Naviculales* включают наибольшее количество семейств (*Anomoeoneidaceae*, *Cymbellaceae*, *Encyonemataceae* и *Amphipleuraceae*, *Naviculaceae*, *Neidiaceae*), соответственно. Остальные порядки в своем составе имеют не более 2 семейств (*Aulacoseirales*, *Melosirales*, *Stephanodiscales*, *Bacillariales*, *Mastogloiales*, *Rhabdonematales*,

*Thalassiosiphonales* – по 1 и *Achnanthes*, *Fragilariaceae* – 2). По количеству родов наиболее богаты порядки *Fragilariaceae* – 5, а также *Stephanodiscaceae*, *Achnanthes*, *Cymbellales*, *Naviculales* – 4. По одному роду включают в себя порядки *Aulacoseirales*, *Melosirales*, *Bacillariales*, *Mastogloiales*, *Rhabdonematales*, *Thalassiosiphonales*.

Наибольшим количеством родов (4) отмечены семейства *Stephanodiscaceae* и *Staurosiraceae*, последнее также лидирует по количеству видов (9). Семейство *Achnanthidiaceae* включает в себя 3 рода и 5 видов, *Cymbellaceae* и *Naviculaceae* – 2 рода и 2 вида. Семейства *Aulacoseiraceae*, *Melosiraceae*, *Cocconeidaceae*, *Bacillariaceae*, *Anomoeoneidaceae*, *Encyonemataceae*, *Fragilariaceae*, *Mastogloiaceae*, *Amphipleuraceae*, *Neidiaceae*, *Tabellariaceae*, *Catenulaceae* подчиняют себе по одному роду.

Род *Staurosira* отмечен 5 видами, *Stephanodiscus* и *Planothidium* – 3, *Aulacoseira*, *Punctastriata*, *Amphora* – 2, остальные рода (21) представлены 1 видом.

По местообитанию преобладают бентосные виды 23.68 % (9 таксонов): *Achnanthidium minutissimum*, *Planothidium rostratoholarcticum*, *Platessa conspicua*, *Cymboplectra anglica*, *Encyonema silesiacum*, *Staurosirella martyi*, *Halimnophora veneta*, *Neidium dubium*, *Amphora inariensis*. Незначительно по количеству таксонов (8) уступает группа планктонно-бентосных видов – 21.05 % (*Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Cyclotella meneghiniana*, *Staurosira construens*, *Staurosira venter*, *Aneumastus tuscus*, *Navicula cari*, *Diatoma tenuis*). Планктонная группа представлена 5 видами (13.16 %): *Aulacoseira ambigua*, *Lindavia comta*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Stephanodiscus minutulus*, *Stephanodiscus neoastreae*. Для 16 видов (42.11 %) по литературным источникам не удалось установить характеристику по отношению к местообитанию.

По относительной численности створок в препарате было выявлено иное соотношение групп. Существенно преобладает планктонная группа – 89.88 %, в основном, за счет участия *Aulacoseira ambigua* (88.26 % от общего количества створок). Значительно уступают планктонно-бентосная – 5.53 % и бентосная группа – 1.21 %. Относительная численность створок видов с невыявленными характеристиками составила 3.37 %.

По отношению к солености воды наиболее широко представлена группа олигогалобов-индифферентов (16 таксонов) – 42.11 %. Группы олигогалобов-галофилов и олигогалобов отмечены всего 3 и 2 (7.89 % и 5.26 %) таксонами соответственно. Для 17 видов характеристика по отношению к галобности осталась неустановленной.

Последовательность групп сохранилась и после подсчета относительной численности створок. Основную долю составила группа олигогалобов-индифферентов – 95.01 %. Доли участия створок, принадлежащих видам галофилам и олигогалобам не существенны – 1.21 % и 0.27 % соответственно, так же, как и видов с неустановленным отношением к данной характеристике – 3.51 %.

Распределение видов по отношению к водородному показателю воды выявило три группы индикаторов ацидификации. Алкалофилы представлены 16 таксонами и занимают наибольшую долю – 42.11 % (*Aulacoseira ambigua*, *Melosira varians*, *Cyclotella meneghiniana*, *Lindavia comta*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Stephanodiscus minutulus*, *Achnanthidium minutissimum*, *Planothidium rostratoholarcticum*, *Platessa conspicua*, *Staurosira construens*, *Staurosira venter*, *Staurosirella martyi*, *Aneumastus tuscus*, *Halimnophora veneta*, *Neidium dubium*, *Amphora inariensis*). Только 4 вида – 10.53 % представляют группу индифферентов (*Aulacoseira granulata*, *Encyonema silesiacum*, *Navicula cari*, *Diatoma tenuis*). Группа алкалобионтов отмечена 1 видом – 2.63 % (*Stephanodiscus neoastreae*). Для 17 видов – 44.74 % не удалось по литературным источникам установить отношение к pH.

В препарате доля участия створок видов алкалофилов составила 94.33 %, индифферентов – 2.02 %, алкалобионтов – 0.13 %, с неустановленным отношением к pH – 3.51 %.

Согласно анализу географической приуроченности, представители диатомей фитопланктона Вилейского водохранилища относятся к 3 биогеографическим группам.

Виды-космополиты представлены 20 таксонами – 52.63 %, группы голарктических и бореальных видов – 1 (2.63 %) каждая, для 16 (42.11 %) видов не удалось по литературным источникам установить их характеристики.

Участие створок в препарате вышеуказанных биогеографических групп, соответственно, составило – 96.37 %, 0.13 % и 0.13 %. Незначительную долю сформировали створки таксонов, неохарактеризованных по данному показателю – 3.37 %.

Рассчитанный индекс сапробности (система Пантле-Бука в модификации Сладечека) в Вилейском водохранилище в октябре 2024 года составил 1.79. Данный показатель соответствует 3 классу качества воды – «Удовлетворительной чистоты» и 3а разряду качества воды – «Достаточно чистая» [1, 2]. Полученное нами значение индекса близко к приводимым ранее другими авторами [6], что может свидетельствовать о стабильной экологической обстановке.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ № Б24М-059.*

#### **Список литературы**

1. Барина, С. С. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы / С. С. Барина, Е. П. Белоус, П. М. Царенко. – Хайфа, Киев: Издательство Университета Хайфы, 2019. – 367 с.
2. Барина, С. С., Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды / С. С. Барина, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
3. Диатомовые водоросли планктона реки Свислочь и ее водохранилищ / С. И. Генкал [и др.]. – М. : Научный мир, 2013. – 236 с.
4. Онлайн база данных научной информации о таксономии водорослей [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.algaebase.org/> (дата обращения: 12.02.2025).
5. Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский [и др.]. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.
6. Турская, С. А. Оценка качества воды в Вилейском водохранилище по индикаторным видам диатомовых водорослей / С. А. Турская // Образование и наука в Беларуси: актуальные проблемы и перспективы развития в XXI в.: сб. науч. ст. / Бел. гос. пед. ун-т им. М. Танка; редкол.: отв. ред. А. В. Торхова [и др.]. — Минск: БГПУ, 2014. — 340 с. — С. 316—319.
7. Чудаев, Д. А. Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область) / Д. А. Чудаев, М. А. Гололобова. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 447 с.
8. Широков В. М., Лопух П. С. Вилейское водохранилище. – Минск: Университетское, 1989. – 80 с.

**БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛИШАЙНИКОВ И БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ  
ГРИБОВ В ДУБРАВАХ И ЧЕРНООЛЬХОВЫХ ЛЕСАХ ЗАКАЗНИКА  
«СТАРОБИНСКИЙ» (МИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, БЕЛАРУСЬ)**

Свирид А. П.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: 28092002.as@gmail.com

В статье представлены результаты анализа литературных данных и коллекции лишайников лаборатории микологии ИЭБ им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси в дубовых и черноольховых лесах на территории заказника «Старобинский». В результате исследования биологического разнообразия лишайнобиоты на территории заказника выявлен 121 таксон: 112 видов лишайников, 6 нелихенизированных грибов – *Chaenothecopsis pusilla*, *Microcalicium disseminatum*, *Phaeocalicium polyporaeum*, *Sarea difformis*, *S. resinae* и *Stenocybe pullatula*, три лишенофильных гриба – *Chaenothecopsis epithallina*, *Muellerella hospitans* и *Stigmidium microspilum*. Впервые для лишайнобиоты республики приводится листоватый лишайник – *Flavopunctelia soledica*. Обнаружено 13 видов лишайников, занесенных в новое издание Красной книги Беларуси: *Bactrospora dryina*, *Calicium adpersum*, *Cetrelia olivetorum*, *C. cetrarioides*, *Chaenotheca chlorella*, *C. gracilentia*, *Cladonia caespiticia*, *Hypotrachyna revoluta*, *Lobaria pulmonaria*, *Menegazzia terebrata*, *Parmotrema stupreum*, *Punctelia subrudecta* и *Usnea ceratina*.

Лишайнобиота — важный компонент биоразнообразия экосистем, обладающий высокой чувствительностью к изменениям окружающей среды и выступающий надежным биоиндикатором экологического состояния природных территорий. Особенно актуально изучение лишайников в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ), где сохраняются уникальные природные комплексы и обеспечивается долгосрочный мониторинг их состояния.

Территория заказника «Старобинский», расположенная в пределах поймы реки Случь, представляет собой сложный в физико-географическом отношении природный комплекс, сформировавшийся на стыке двух крупных природных районов — Припятского Полесья и Центрально-Березинской равнины. На территории заказника представлены следующие типы почв: дерново-подзолистые, дерновые, дерново-карбонатные, песчано-супесчаные и торфяно-болотные. В климатическом отношении данная территория относится к Пинскому агроклиматическому району. Этот район относится к числу экологически неблагоприятных в Беларуси из-за добычи силвинитовой руды. В результате промышленной деятельности здесь образуются огромные солеотвалы, достигающие 130 метров в высоту и занимающие площадь 600–700 гектаров. Один из таких объектов расположен всего в 10 км к северу от заказника [3].

Возраст древесных насаждений на территории заказника варьируется в следующих пределах: сосновые леса насчитывают более 120 лет, ельники — свыше 100 лет, березняки и осинники достигли возраста 80 лет, дубравы — более 140 лет, а черноольшаники — свыше 70 лет [1, 2].

Исследования видового разнообразия лишайников и родственных им грибов на территории заказника «Старобинский» ранее практически не осуществлялись. Во время полевых исследований, проведенных в 2021 году в рамках создания заказника, был зафиксирован 21 вид лишайников, включая охраняемый вид — *Cetrelia cetrarioides* (Delise ex Duby) W.L. Culb. & C.F. Culb., однако данные о его метаболомном составе отсутствуют.

В результате исследования биологического разнообразия лишайнобиоты дубрав и черноольховых лесов на территории заказника выявлен 121 таксон: 112 видов лишайников, шесть нелихенизированных грибов — *Chaenothecopsis pusilla* (Ach.) A.F.W. Schmidt, *Microcalicium disseminatum* (Ach.) Vain, *Phaeocalicium polyporaeum* (Nyl.) Tibell, *Sarea difformis* (Fr.) Fr, *S. resinae* (Fr.) Kuntze и *Stenocybe pullatula* (Ach.) Stein, три лишенофильных гриба — *Chaenothecopsis epithallina* Tibell, *Muellerella hospitans* Stizenb и *Stigmidium microspilum* (Körb.) D. Hawksw.

Впервые для лихенобиоты республики приводится листоватый лишайник – *Flavopunctelia soledica* (Nyl.) Nale (рисунок 1). Новыми для Минской области оказались следующие виды: *Chaenotheca hispidula* (Ach.) Zahlbr., *C. gracilenta* (Ach.) Mattsson & Middelb., *Lepraria ecorticata* (J.R. Laundon) Orange, *Micarea botryoides* (Nyl.) Coppins, *M. microareolata* Launis, Pykälä & Myllys, *Opegrapha niveoatra* (Borrer) J.R. Laundon, *Parmotrema stuppeum* (Taylor) Hale, *Pertusaria coronate* (Ach.) Th. Fr., *Punctelia jeckeri* (Roum.) Kalb, *P. subrudecta* (Nyl.) Krog, *Stigmidium microspilum* (Körb.) D. Hawksw и *Usnea ceratina* Ach.



Рисунок 1 – Внешний вид лишайника *Flavopunctelia soledica*

В дубравах и черноольховых лесах заказника обнаружено 13 видов лишайников, занесенных в Красную книгу Беларуси, с учетом новых предложенных видов: *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal, *Calicium adpersum* Pers., *Cetrelia olivetorum* (Nyl.) W.L. Culb. & C.F. Culb., *C. cetrarioides* (Delise ex Duby) W.L. Culb. & C.F. Culb., *Chaenotheca chlorella* (Ach.) Müll. Arg., *C. gracilenta* (Ach.) Mattsson & Middelb., *Cladonia caespiticia* (Pers.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb., *Hypotrachyna revoluta* (Flörke) Hale, *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal, *Parmotrema stuppeum* (Taylor) Hale, *Punctelia subrudecta* (Nyl.) Krog и *Usnea ceratina* Ach.

Плакорные дубравы и черноольховые леса заказника характеризуются высоким разнообразием индикаторных видов лишайников и нелихенизированных сапротрофных грибов, характерных для старовозрастных лесов Центральной Европы и Беларуси. В обследованных лесных фитоценозах отмечен 32 вида (25,7 % от общего числа лишайников и близкородственных грибов в дубравах и черноольховых лесах): *Arthonia arthonioides* (Ach.) A.L. Sm., *Bacidia arceutina* (Ach.) Th. Fr., *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal., *Biatora ocelliformis* (Nyl.) Räsänen, *Calicium adpersum* Pers., *C. salicinum* Pers., *C. viride* Pers., *Cetrelia olivetorum* (Nyl.) W.L. Culb. & C.F. Culb., *Chaenotheca brachypoda* (Ach.) Tibell, *C. brunneola* (Ach.) Müll. Arg., *C. chlorella* (Ach.) Müll. Arg., *C. gracilenta* (Ach.) Mattsson & Middelb., *C. hispidula* (Ach.) Zahlbr., *Chaenothecopsis epithallina* Tibell, *Chrysothrix candelaris* (L.) J.R. Laundon, *Cladonia caespiticia* (Pers.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb., *Fellhanera gyrophorica* Serus., Coppins, Diederich & Scheid., *Hypotrachyna revoluta* (Flörke) Hale, *Inoderma byssaceum* (Weigel) Gray, *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal., *Micarea botryoides* (Nyl.) Coppins, *Microcalicium disseminatum* (Ach.) Vain., *Opegrapha niveoatra* (Borrer) J.R. Laundon, *Parmotrema stuppeum* (Taylor) Hale, *Pertusaria coronate* (Ach.) Th. Fr., *Punctelia borrieri* (Sm.) Krog, *P. jeckeri* (Roum.) Kalb, *P. subrudecta* (Nyl.) Krog, *Sclerophora pallida* (Pers.) Y.J. Yao & Spooner, *Usnea ceratina* Ach. и *U. intermedia* (A. Massal.) Jatta.

Проведённое исследование лихенобиоты заказника «Старобинский» выявило высокое видовое разнообразие лишайников и близкородственных грибов, что подчёркивает значимость данной территории как ценного природного объекта. В дубравах и черноольховых лесах, обнаружен 121 таксон, в том числе редкие и охраняемые виды, а также

новые для региона и Республики Беларусь лишайники, это свидетельствует о высокой экологической ценности заказника. Полученные данные подчеркивают необходимость сохранения лесных экосистем и дальнейшего мониторинга состояния лишайнобиоты заказника «Старобинский».

#### **Список литературы**

1. Бруцкая, В. В. Характеристика лесного фонда заказника местного значения «Старобинский» / В. В. Бруцкая // 75-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов : тезисы докладов, 22-27 апреля 2024 г., Минск : в 4 ч. Ч. 1. - Минск : БГТУ, 2024. – С. 10–11.
2. Об объявлении заказника местного значения «Старобинский» : решение Солигорского районного исполнительного комитета от 29 июня 2022 г. № 1014 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=R922n0116862> (дата обращения: 05.08.2025).
3. Разработка плана управления заказником местного значения «Старобинский» : отчет о НИР (заключ.) / Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси ; рук. Н. А. Зеленкевич ; исполн.: Д. Г. Груммо, Р. В. Цвирко, О. М. Масловский [и др.]. – Минск, 2023. – 171 с. – Рег. № НИОКР.

## МОРФОЛОГИЯ ПЫЛЬЦЫ НЕКОТОРЫХ МЕДОНОСНЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ROSACEAE СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Скомаха А. Д.

ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург,  
Российская Федерация  
e-mail: skomakha\_ar@mail.ru

Проведен анализ пыльцы 29 видов медоносных растений в 19 родах семейства Rosaceae Северо-Запада России. Выделено 5 основных палинотипов: *Sanguisorba* с 6-лопастным очертанием с полюса; *Filipendula* с 3-лопастным очертанием и шиповатой скульптурой экзины; *Cotoneaster* с 3-лопастным очертанием и гладкой скульптурой; *Rubus odoratus* с 3-лопастным очертанием и бородавчатой скульптурой с мелкими перфорациями; 3-бороздно-оровые со струйчатой скульптурой: включает 4 подтипа в зависимости от характера струй: *Dasiphora*, *Crataegus*, *Geum* и *Rosa*.

Исследование выполнялось в рамках плановой темы «Сосудистые растения Евразии: систематика, флора, растительные ресурсы» федерального бюджетного учреждения науки Ботанического института им. В. Л. Комарова Российской Академии Наук по составлению атласа "Пыльца медоносных растений Северо-Запада России". Палинологический анализ имеет решающее значение для определения ботанического происхождения пыльцевых зерен в образцах меда, как того требует ГОСТ 19792–2017. Точность определений зависит от степени изученности морфологических особенностей пыльцы медоносов региона, из которого происходит конкретный образец меда.

Современных Атласов пыльцы медоносных растений, содержащих полную информацию о пыльцевых зернах и выполненного на современном уровне крайне мало, а для растений Северо-Западного региона России такого атласа до сих пор нет.

С палинологической точки зрения семейство Rosaceae было тщательно изучено, и для справки доступна обширная палинологическая иконотека, хранящаяся в том числе в лаборатории палинологии БИН РАН. Несмотря на это и на многочисленные палинологические исследования [1–3], по-прежнему существует потребность в дополнительных данных о структуре пыльцевых зерен семейства Розовые. Многие виды семейства до сих пор остаются неизученными, а для некоторых родов известны описания и изображения лишь нескольких видов.

Для пыльцевого анализа были отобраны 29 видов растений из семейства Розовые: *Alchemilla vulgaris* L.; *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott; *Crataegus sanguinea* Pall.; *Cotoneaster lucidus* Schltdl.; *Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.; *Fragaria vesca* L.; *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.; *Geum aleppicum* Jacq., *G. urbanum* L., *G. coccineum* Sibth. & Sm, *G. rivale* L.; *Malus sylvestris* (L.) Mill., *M. domestica* Borkh.; *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim; *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., *P. argentea* L.; *Prunus cerasus* L., *P. avium* L., *P. padus* L.; *Pyrus communis* L.; *Rosa majalis* Herrm., *R. rugosa* Thunb.; *Rubus odoratus* L., *R. caesius* L., *R. idaeus* L.; *Sanguisorba officinalis* L.; *Sorbus aucuparia* L.; *Spiraea chamaedryfolia* L., *S. salicifolia* L. Данные виды являются широко распространенными и доступными для пчел, а их пыльца очень часто встречается в образцах меда.

Материал для исследования был собран маршрутным методом в мае — июле 2021 и 2023 года и гербаризирован в природной среде. Дополнительно растения фотографировались в условиях их местообитания. Видовую принадлежность собранных растений определяли с помощью определителей растений Ленинградской области [4] и Северо-Запада России [6].

Для извлечения содержимого пыльцевого зерна проводилась химическая обработка ацетоллизным методом Эрдмана с заменой уксусного ангидрида на пропионовый, что облегчило анализ основных диагностических признаков пыльцы под светооптическим, сканирующим–электронным и конфокальным лазерным сканирующим микроскопом Zeiss LSM 780.

После химической обработки для изготовления препаратов для светоптического микроскопа (СМ) и конфокального лазерного сканирующего микроскопа использовался метод погружения пыльцы в желатин–глицерин и подготовлены образцы пыльцы для дальнейшего исследования с помощью сканирующего-электронного микроскопа Jeol JSM-6390LA(СЭМ).

В ходе проведения светоптического исследования и исследования с применением сканирующего-электронного и светоптического микроскопа выполнялась фотофиксация изображений. Полученные микрофотографии использовались для составления фототаблиц (рисунок 1), которые отражают основные особенности строения пыльцевых зерен конкретного вида семейства Rosaceae. Каждая фототаблица сопровождается описанием пыльцевых зерен вида, которое производится по препаратам. Оно включает данные о симметрии, размере, форме, очертании пыльцевых зерен, количестве и качестве апертур и ор, а также о строении поверхности экзины и ее видимости на светоптическом микроскопе.

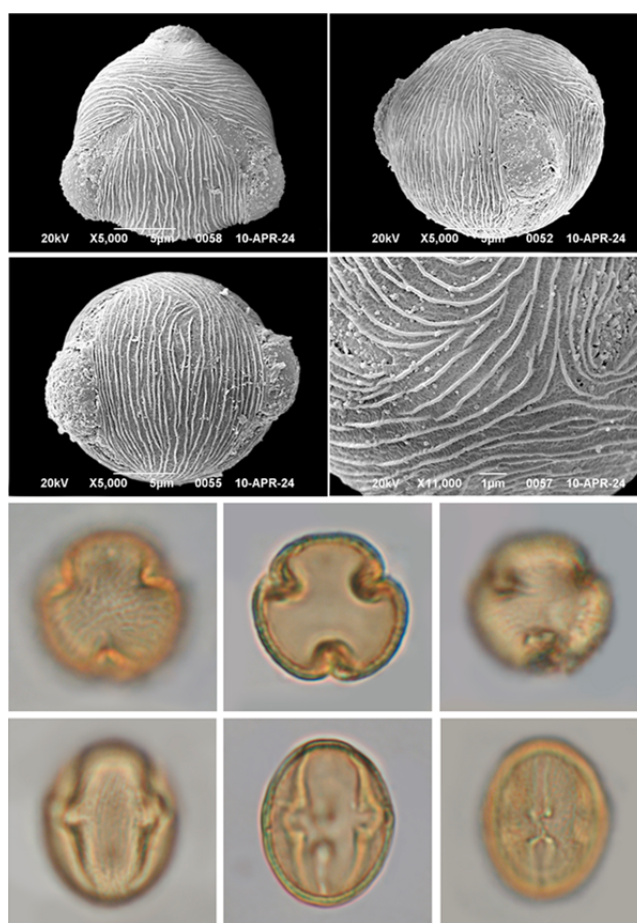


Рисунок 1 – Пример фототаблицы (*Geum urbanum* L.)

Кроме информации, которую можно получить со СМ и СЭМ, конфокальный лазерный сканирующий микроскоп позволяет рассмотреть очертание эндоапертур. Это является важным аспектом, поскольку эндоапертуры часто плохо просматриваются при обычной светоптической микроскопии.

Исследование пыльцы на конфокальном лазерном микроскопе позволило рассмотреть очертание эндоапертур, что чаще всего невозможно сделать при работе с другими микроскопами. Однако данный метод послужил лишь дополнением к уже изученным мною ранее видам семейства Rosaceae, рассматриваемых в исследовании 2022 года [5], поскольку в фототаблицах создаваемого атласа пыльцы медоносных растений, изображения СЭМ не используются.

На основе анализа результатов исследования получены следующие выводы:

1. Пыльцевые зерна изученных видов семейства Rosaceae эллипсоидные и сфероидальные, изополярные, 3-бороздно-оровые; мелкие и средние, от 14,2 до 51,3 мкм, экина тонкая (от 0,8 до 1,8 мкм).

2. Скульптура поверхности пыльцевых зерен у исследованных видов в подавляющем большинстве струйчатая, но также встречается шиповатая, бородавчатая и гладкая, у некоторых видов может быть различима и при использовании светооптического микроскопа.

3. Анализ морфологических особенностей строения пыльцевых зерен семейства Rosaceae позволил выделить 5 палинотипов: тип *Sanguisorba*, характеризующийся 6-лопастным очертанием с полюса и включающий в себя один вид — *Sanguisorba officinalis* L.; тип *Filipendula* с 3-лопастным очертанием с полюса и шиповатой скульптурой различимой на светооптическом микроскопе, включает *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.; тип *Cotoneaster* с 3-лопастным очертанием с полюса и гладкой поверхностью экины с многочисленными перфорациями, представитель *Cotoneaster lucidus* Schltdl; тип *Rubus odoratus* с 3-лопастным очертанием с полюса и бородавчатой скульптурой с мелкими перфорациями, скульптура *Rubus odoratus* L. отличается от остальных видов рода, поэтому вид выделен в отдельный тип; тип 3-бороздно-оровые со струйчатой скульптурой. Последний тип самый распространенный в семействе и разделен на 4 подтипа в зависимости от характера струй: подтип *Dasiphora* — струи поверхности экины покрыты рядом гранул, включает вид *Dasiphora fruticosa* (L.) Rydb.; подтип *Crataegus* — короткие струи, плотно прилегающие друг к другу, представлен *Crataegus sanguinea* Pall.; подтип *Geum* — струи достаточно широкие, просматриваемые в светооптический микроскоп, включает следующие виды: *Alchemilla vulgaris* L.; *Geum aleppicum* Jacq., *G. coccineum* Sibth. & Sm., *G. rivale* L., *G. urbanum* L.; *Fragaria vesca* L.; *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim; *Potentilla argentea* L., *P. erecta* (L.) Raeusch; *Prunus avium* L., *P. cerasus* L., *P. padus* L.; подтип *Rosa* — струи скульптуры мелкие и узкие, просматриваются только на сканирующем-электронном микроскопе, к подтипу относятся *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott; *Malus domestica* Borkh., *M. sylvestris* (L.) Mill.; *Pyrus communis* L.; *Rosa majalis* Herrm., *R. rugosa* Thunb.; *Rubus caesius* L., *R. idaeus* L.; *Sorbus aucuparia* L.; *Spiraea chamaedryfolia* L., *S. salicifolia* L.

Основной целью данной работы было выявление и описание морфологического разнообразия пыльцы медоносных растений семейства Rosaceae Северо-Запада России для создаваемого атласа «Пыльца медоносных растений Северо-Запада России», для которого был также составлен ключ для определения.

#### Список литературы

1. Edgeworth, M. P. Pollen. / Edgeworth M. P. // Hardwicke & Bogue. — London, 1877. — P. 92.
2. Pollen morphology and variability of species from the genus *Rubus* L. (Rosaceae) alien and invasive in Poland // K. Lechowicz, J. Bocianowski, D. Wronska-Pilarek // Webbia. Journal of Plant Taxonomy and Geography. — 2021. — V. 76, №1. — P. 109–121. doi: 10.36253/jopt-10355.
3. Wronska-Pilarek, D. Pollen morphology of Polish native species of the *Rosa* genus (Rosaceae) and its relation to systematics / D. Wronska-Pilarek // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. — 2011. — V.80, №3. — P. 221 – 232. doi: 10.5586/asbp.2011.031.
4. Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области / Редакторы: А. Л. Буданцев, Г. П. Яковлев. М. — Товарищество научных изданий КМК, 2006. — 799 с.
5. Морфология пыльцы некоторых медоносных видов семейства Rosaceae Ленинградской области / А. Д. Скомаха, В. В. Григорьева, Н. А. Медведева, Д. А. Брицкий // Растительные ресурсы. — 2023. — Т. 59, № 4. — С. 412–423. doi: 10.31857/S0033994623040106.
6. Цвелев, Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Запада России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). — СПб: Издательство СПХФА, 2000. — 781 с.

## АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ЦЕНОТИЧЕСКОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ МХОВ ЭВТРОФНЫХ БОЛОТ БЕЛАРУСИ

Христюк-Макарова Я. А., Чумаков Л. С.

ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: y.makarova0302@gmail.com

Приведены результаты первичного анализа ценотической приуроченности модельных видов мхов на участках эвтрофных болот Мядельского района Минской области. Описаны экологические факторы развития популяций модельных видов, что позволяет развивать направление моделирования перспективных участков для восстановления редких представителей бриофлоры Беларуси.

Для сравнительного анализа экологических условий с целью определения ценотической приуроченности изучаемых видов мхов были отобраны данные, собранные во время полевых исследований двух болотных массивов, расположенных на территории национального парка «Нарочанский», в окрестностях деревень Россохи и Бресские Мядельского района. По результатам исследований был составлен список видов сосудистых растений и мхов, для которых было подсчитано проективное покрытие.

По результатам первичного сравнительного анализа общее количество видов, встречающихся на исследованных участках, составило 37, среди которых 5 – изучаемые виды мхов. При сравнении полученных данных было выверено 12 пересекающихся (общих) видов сосудистых растений и мхов, перечень которых представлен в таблице 1.

**Таблица 1 – Сравнение пересекающихся (общих) видов сосудистых растений и мохообразных для участков болот в окрестностях деревень Россохи (болото1) и Бресские (болото 2) с суммой проективных покрытий**

| Вид                                                                         | Болото 1  |            |       |        | Болото 2   |            |       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|--------|------------|------------|-------|--------|
|                                                                             | п/п %     | Встре ч. % | λ     | Сум ма | п/п %      | Встре ч. % | λ     | Сум ма |
| <i>Andromeda polifolia</i> L. - Подбел многолистный                         | 0,3±0,07  | 70         | 0,608 | 5,2    | 0,7±0,28   | 55         | 1,507 | 14,3   |
| <i>Carex lepidocarpa</i> Tausch - Осока чешуеплодная                        | 97,3±0,55 | 100        | 0,248 | 1945   | 52,8±1,078 | 60         | 6,636 | 1056   |
| <i>Cinclidium stygium</i> Sw. - Цинклидиум стигийский                       | 4,5±1,42  | 70         | 2,974 | 90,6   | +          | 15         | -     | 120    |
| <i>Comarum palustre</i> L. - Сабельник болотный                             | +         | 25         | -     | 9,5    | 0,5±0,14   | 40         | 0,926 | 8,6    |
| <i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz - Дремлик болотный                   | +         | 5          | -     | 0,4    | 0,7±0,31   | 50         | 1,615 | 14,4   |
| <i>Equisetum palustre</i> L. - Хвощ болотный                                | 2,3±0,61  | 95         | 1,782 | 46,6   | +          | -          | -     | 0,1    |
| <i>Lycopus europaeus</i> L. - Зюзник европейский                            | 0,3±0,08  | 40         | 0,74  | 5      | +          | -          | -     | 0,01   |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> L. - Вербейник обыкновенный                      | +         | 10         | -     | 2,5    | +          | -          | -     | 0,1    |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> L. - Вахта трехлистная                         | 9,7±2,41  | 75         | 3,465 | 194    | 0,7±0,17   | 85         | 0,915 | 14,2   |
| <i>Oxycoccus palustris</i> Pers. - Клюква болотная                          | +         | 35         | 3,703 | 29,1   | 5,0±1,79   | 65         | 3,576 | 100,5  |
| <i>Peucedanum palustre</i> (L.) Moench - Горичник болотный                  | 0,2±0,05  | 45         | 0,517 | 2,9    | +          | -          | -     | 1      |
| <i>Scorpidium scorpioides</i> (Hedw.) Limpr. – Скорпиидиум скорпиидиевидный | +         | 25         | -     | 7,03   | +          | 10         | -     | 4      |

Сумма проективных покрытий используется в геоботаническом анализе для количественной оценки структуры растительного покрова и анализа его пространственной

организации. Показатель позволяет понять, насколько плотным и компактным является покрытие растительности на исследуемой территории, а также оценить вклад видов в общий покров. Поскольку болото в окрестностях деревни Бресские является эв-мезотрофным, при подсчете сумм проективных покрытий растительности цветами были обозначены участки, на которых данные виды наблюдались, где желтым цветом обозначены виды, встречающиеся на обоих участках болота, зеленым – эвтрофный участок болота, синим – мезотрофный.

*Cinclidium stygium* Sw. в обоих случаях имеет тенденцию к сильной агрегации, т.е. склонности к группировке. В первом случае вид встречался в 13 из 20 пробных площадок, что позволило рассчитать его проективное покрытие, вследствие чего коэффициент агрегации ( $\lambda$ ) составил 2,974. На территории болота в окрестностях деревни Бресские данный вид встречался только на 3 из 20 пробных площадок, две из которых были приурочены к мезотрофному участку болота. Несмотря на разницу во встречаемости (70 % к 15 % от общего количества пробных площадок), сумма проективных покрытий более велика для второго болота, где средний процент проективного покрытия видом на площадке составил 40 % (53 %, 29 %, 38 %) по сравнению с 6,97 % на эвтрофном болоте 1. Это свидетельствует о том, что во втором случае данный вид формировал более плотные, устойчивые группы, несмотря на их немногочисленность. Такой результат может быть связан с рядом факторов: экологические предпочтения вида, конкуренция и взаимодействие с другими видами, заканчивая возможной сукцессией и стадией развития сообщества.

*Scorpidium scorpioides* (Hedw.) Limpr. в обоих случаях встречался довольно редко (25 % для болота 1 и 10 % для болота 2) и неравномерно, вследствие чего его проективное покрытие было принято за +, что не позволяет достоверно рассчитать коэффициент агрегации для данного вида. Сумма проективных покрытий для *S. scorpioides* на двух болотах составила 9,03 и 4 соответственно. Показательным является то, что в отличие от *Cinclidium stygium*, который встречался на втором болоте как на эвтрофном так и на мезотрофном участках, встречаемость *S. scorpioides* была характерна только для эвтрофного участка болота, что может свидетельствовать о его менее широком диапазоне условий произрастания.

Помимо данных о проективном покрытии, при имеющимся списке найденных видов для характеристики экологических условий на изучаемых территориях применялся анализ по экологическим шкалам Д. Н. Цыганова. Данные шкалы представляют собой систему, используемую в геоботанике для оценки экологических предпочтений растений по ряду факторов среды: увлажненности (Hd), освещенности (Lc), кислотности почвы (Rc), содержания азота (Nt), трофности (Tr). Шкалы основаны на аналогичных шкалах Элленберга и позволяют анализировать экосистемы, моделировать условия среды и проводить мониторинг. Несмотря на большую базу данных о видах растений (у Д. Н. Цыганова были описаны 2304 вида), мохообразные по-прежнему являются недостаточно изученными. Поэтому, для некоторых видов невозможно построить шкалы, однако, на основе анализа особенностей произрастания других видов растений, встречающихся в одном биоценозе с изучаемыми видами мохообразных, можно предполагать их возможные экологические предпочтения. При анализе экологических характеристик для пересеченных видов по шкалам Д. Н. Цыганова можно рассчитать оптимум, который является значением экологического показателя, которое наиболее благоприятно для роста большинства видов в исследуемой области (при котором большинство видов достигнут наибольшего проективного покрытия).

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что рассчитанные оптимумы также применимы и к изучаемым видам мхов, ранее не имевших подобные описания. Полученные результаты могут быть применимы при последующем моделировании благоприятных территорий для дальнейшего восстановления популяций редких видов мхов эвтрофных болот.

*Благодарности.* Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант «Мой первый грант № Б24МП-015 от 2 мая 2024 г.).

## НЕКОТОРЫЕ РЕДКИЕ ВИДЫ МХОВ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ

Цвижба Р. А.

ГНУ «Ботанический институт Академии наук Абхазии», г. Сухум, Республика Абхазия  
e-mail: rashidzvishba@mail.ru

В работе даны описание 4 редких видов мхов (*Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs, *Thamnobryum neckeroides* (Hook.) E. Lawton, *Timmia bavarica* Hessel., *Tortella nitida* (Lindb.) Broth.) произрастающих на территории Республики Абхазия, указаны местообитание и экологические характеристики видов.

Республика Абхазия – горная страна, в рельефе которой преобладают отроги Главного Кавказского хребта: Кодорский, Абхазский, Бзыбский и Гагрский. Климат — субтропический, влажный. Среднегодовое количество осадков 1500 мм. Растительность Абхазии насчитывает свыше 2000 видов высших растений, из них около 100 видов эндемики (Куфтырева, Лашихия, Мгеладзе 1961: 341).

Исследование флоры мхов в Абхазии проводилось маршрутным методом, обследовались различные фитоценозы в пределах растительных поясов высотой от 0 м н.у.м. до 2200 м н.у.м.

В результате наших исследований на территории Республики Абхазия выявлено 4 редких вида мхов: *Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs, *Thamnobryum neckeroides* (Hook.) E. Lawton, *Timmia bavarica* Hessel., *Tortella nitida* (Lindb.) Broth..

*Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs - Местонахождение - Рицинский Национальный Реликтовый Парк, берег р. Бзыбь. Характеризующие виды: гречка, мятлик. Субстрат – сырая почва. Вид обнаружен в поясе смешанных субтропических лесов на высоте 500 м н.у.м.

Описан из Англии. Широко распространенный, преимущественно голарктический вид, проникающий также в высокогорья Мексики и Южной Америки; обычен в Арктике и бореальной зоне, южнее – в реликтовых болотных комплексах и в горах (до Южной Европы, Кавказа, Средней Азии, центральных районов Китая).

В России отмечен в большинстве регионов, но особенно широко распространен в подзоне северной тайги и тундровой зоне, где встречается в довольно широком спектре переувлажненных местообитаний, хотя доминантам каких-либо типов растительности обычно не выступает [1].

Рисунок 1 – *Straminergon stramineum*

*Thamnobryum neckeroides* (Hook.) E. Lawton – Местонахождение - Рицинский Национальный Реликтовый Парк. Вид обнаружен в поясе смешанных субтропических лесов на высоте 500 м н.у.м. Характеризующие виды: лещина, иглица, герань. Субстрат – почва. До

недавнего времени считался преимущественно азиатским видом, однако Матрации выявил его нахождение на западе и востоке Северной Америки, в Европе (Чехия, Германия, Италия), а также в Новой Зеландии. В Азии вид известен из Южной Кореи, Китая, Индии. Впоследствии вид был найден еще в ряде мест Центральной Европы, Латвии, в Абхазии и Украине на Карпатах, а также Адыгее. В азиатской части России вид довольно обычен на Дальнем Востоке (Приморье, Сахалин, Курилы, редко на Камчатке), где является, вероятно, наиболее частым видом рода, а также горах Южной Сибири (в местах наибольшей концентрации неморальных реликтов, в нижнем, реже среднем горном поясах), отдельные находки известны по Енисею в нижнем течении.

Растет в хвойных и широколиственных лесах, преимущественно во влажных участках долин, на камнях, иногда в основании стволов и на валежнике. Находка в Адыгее, однако, была сделана выше границы леса, на 2300 м, в расщелине известняковой скалы у ручья [1].



Рисунок 2 – *Straminergon stramineum*

*Timmia bavarica* Hessel. Местонахождение – Рижский Национальный Реликтовый Парк. Вид обнаружен в поясе буковых лесов на высоте 1200 м н.у.м.. Характеризующие виды: бук, овсяница, мелколепестник. Субстрат - каменистая почва.

Описан из Германии. Вид с широким распространением в большинстве районов Голарктики, от Арктики до Северной Африки (Алжир, Марокко), Ирана, Афганистана, Гималаев, юга Китая. В России растет преимущественно в горах, обычно в среднем и верхнем горном поясе: на Кавказе до 2850 м над ур. м., на Алтае до 2700 м над ур. м., хотя отдельные находки есть и на меловых горах на Среднерусской возвышенности, и в районе Воркуты в тундре, и на Командорских островах. Растет, как правило, на выходах известняков, более редко на почве [2].



Рисунок 3 – *Timmia bavarica*

*Tortella nitida* (Lindb.) Broth. Местонахождение – склон г. Мамзышха. Характеризующие виды: гречка, зверобой, плющ. Субстрат – камень.

*Tortella nitida* распространена в основном в средиземноморских и приатлантических районах Европы, на север до Великобритании, а также в Центральной Европе, Макаронезии и Северной Африке; она известна из Израиля, Турции, недавно найдена в Казахстане и на Черноморском побережье Грузии. Все указания вида для Северной Америки оказались ошибочными. В России встречается на Кавказе в районе Сочи. Растет в мелкозем в расщелинах известняковых скал [1].



Рисунок 4 – *Tortella nitida*

#### Экологический анализ найденных видов мхов:

1. *Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs — Индифферентный гидрогигрофит. Субстраты: мокрые и сырые почва, мелкозем, песок, глина, супесь, ил, литома, торф, древесина.

2. *Thamnobryum neckeroides* (Hook.) E. Lawton — Эпилитный, реже эпифитный, сциофитный мезогигрофит. Субстраты: влажные литома, кора, гнилая древесина (редко).

3. *Timmia bavarica* Hessel. Преимущественно эпилитный, факультативно кальцефильный гигромезофит. Субстраты: влажные и сырые литома, глина, супесь, мелкозем, ил, кора.

4. *Tortella nitida* (Lindb.) Broth. Кальцефильный мезогигрофит. Субстрат: мелкозем в расщелинах известняковых скал.

Таким образом в результате наших исследований для территорий Абхазии выявлено 4 редких вида мха с разнообразными эколого-ценотическими характеристиками, рассмотрена субстратная приуроченность каждого вида.

#### Список литературы

1. Игнатов, М. С. Флора мхов средней части европейской России / М. С. Игнатов, Е. А. Игнатова. – 2003. – Т. 1. – С. 609.
2. Игнатов, М. С. Игнатова Флора мхов средней части европейской России / М. С. Игнатов, Е. А. Игнатова. – 2004. – Т. 2. – С. 960.

## РАСТЕНИЕ 2025 ГОДА В БЕЛАРУСИ

В 2024 г. общественное объединение «Ботаническое общество» провело очередную Национальную кампанию «Растение года». В результате голосования растением 2025 г. выбран Василек синий (бел. – васілёк сіні, валошка, сіноўнік, хабэрка) *Centaurea cyanus* L. семейства Астровые или Сложноцветные (*Asteraceae*).



Василек синий – однолетнее травянистое растение, нежный, но стойкий цветок, символ белорусской земли, ее красоты и скромного очарования. Именно его изображение украшает логотип Беларуси, представляя нашу страну как привлекательное место для туризма. Цветет василек с июня до поздней осени. Окраска его лепестков варьируется от сине-голубых до лазорево-белых.

Василек – ценный медонос, дающий зеленовато-желтый мед с тонким миндальным ароматом. Молодые побеги и цветки василька, богатые аскорбиновой кислотой, используются в кулинарии (в сыром или вареном виде) и обладают комплексом полезных свойств: стимулируют аппетит и пищеварение, укрепляют иммунитет, оказывает спазмолитическое, диуретическое, антимикробное, противоопухолевое действие.

Василек занимает особое место в народных преданиях и мифологии, олицетворяя собой верность и преданность. Этот цветок традиционно ассоциируется с чистой любовью и искренностью чувств.

В первом полугодии 2025 г. Общественным объединением «Ботаническое общество» совместно с государственным научным учреждением «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купчевича Национальной академии наук Беларуси» с целью привлечения внимания молодежи к дикорастущим растениям Беларуси, их проблемам и необходимости сохранения мест их произрастания; развития творческих способностей учащихся и повышения качества экологических знаний были проведены 3 детских конкурса:

- конкурс детского рисунка «Василек синий – символ Беларуси»;
- конкурс фотографий «Василек синий. Луговые и полевые цветы»;
- конкурс видеоклипов/видеороликов «Василек синий. Луговые и полевые».

Конкурсы собрали 3075 рисунков, 1022 фотографии, 59 видеороликов от участников из более чем 300 учреждений образования. 37 лауреатов в различных номинациях были отмечены дипломами и получили в подарок познавательные книги (в том числе книгами «Яркие представители дикой природы Беларуси», «200 цветковых растений Беларуси»), сладкие призы и сувениры (пазлы touchwood «Василек»).



Победитель конкурса детского рисунка «Василек синий – символ Беларуси»  
Бердовская Анастасия, 14 лет



Победитель конкурса фотографий «Василек синий. Луговые и полевые цветы»  
Малец Александр, 13 лет

## ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

Общественное объединение «Ботаническое общество» (далее по тексту – ОО «Ботаническое общество») – независимая организация научного характера деятельности, объединяющая на добровольных началах ученых, научную интеллигенцию, специалистов производства и управления, преподавателей и студентов, работающих или обучающихся в области ботаники, фитоценологии, экологии растений, охраны природы и смежных наук.



ОО «Ботаническое общество» имеет статус местного общественного объединения и осуществляет свою деятельность на всей территории Республики Беларусь. В своей работе ОО «Ботаническое общество» руководствуется действующей Конституцией Республики Беларусь, Законом Республики Беларусь «Об общественных объединениях», действующим законодательством и настоящим Уставом.

Главной целью ОО «Ботаническое общество» является широкое содействие развитию всех направлений науки о растительном мире, пропаганда научных знаний, сплочение ученых, практиков и общественности для решения важнейших экологических проблем, внедрение в народное хозяйство достижений современной ботанической науки.

Главная задача ОО «Ботаническое общество» заключается в интеграции ботанической науки с другими биологическими дисциплинами – биохимией, физиологией растений, генетикой, микробиологией и фармакологией для создания единого научного пространства для междисциплинарных исследований. ОО «Ботаническое общество» стремится поддерживать профессиональный рост своих членов, содействуя реализации их научных проектов и инновационных разработок, а также активно сотрудничает с образовательными учреждениями, предоставляя методическую помощь в преподавании ботаники и экологии. Общество инициирует разработку научно-обоснованных предложений для государственных программ в области ботаники, фитоценологии и охраны природы, одновременно укрепляя международные научные связи и создавая площадки для профессионального диалога. Важной частью деятельности ОО «Ботаническое общество» является популяризация ботанических знаний через сотрудничество со СМИ, организацию лекций, выставок и просветительских мероприятий, что способствует как развитию научного творчества, так и повышению экологической культуры общества.

## АВТОРЫ

Alaskarova F. E. 114, 124  
Dang V. H. 229  
Demidchik V. V. 117, 120, 127  
Eyvazova G. 124  
Gadimov A. G. 114, 124  
Gumbatova M. Kh. 114  
Peng Y. 117, 120  
Potokin A. F. 229  
Rahimova S.N. 124  
Zhao K. 127  
Zuo J. 120  
Абрашкина У. Я. 130  
Авраменко С. Н. 119  
Алейников С. А. 133  
Алейнікаў С. А. 44  
Алекперова Е. М. 177  
Алексеева М. И. 136, 245  
Амбросова А. П. 236  
Амиралиева Л. В. 18  
Багрецова М. Р. 239  
Бартошевич М. С. 245  
Бачура Ю. М. 70  
Белаконь В. С. 44  
Бибикова Т. Н. 162  
Булавин И. В. 242  
Васюк С. И. 21  
Величко Н. В. 103  
Величко Н. И. 180  
Вознячук И. П. 66, 74  
Волкова Е. А. 29  
Волошина Е. Р. 24  
Воронов Д. А. 34  
Галюта И. С. 220  
Геникова Н. В. 18  
Герман А. Д. 206, 220  
Голышев С. Н. 198  
Гомолко А. А. 27, 63  
Гордых С. А. 220, 245

Гриусевич П. В. 139, 183  
Демидчик В. В. 136, 139, 183, 223, 245  
Дитченко Т. И. 256  
Добронравина В. Н. 29  
Дятчик А. С. 31  
Еловская Н. А. 142  
Емельянова А. В. 145  
Жабинский В. Н. 223  
Жачкина Н. Н. 177  
Житомирская А. Л. 139  
Зайцева В. О. 139  
Зайцева Д. Д. 148  
Звягинцев В. Б. 95, 97  
Зеленкевич Н. А. 83  
Иванов О. А. 168, 209, 217, 226  
Иванова Д. А. 34  
Иващенко Л. О. 95, 97  
Ипатова В. И. 47  
Кабачевская Е. М. 212  
Карасёва Е. Н. 157, 215  
Карманова В. В. 248  
Карпаева А. Ю. 37  
Карпачева Е. В. 151  
Карриева Р. Б. 193  
Кирьянов П. С. 15  
Кобзарь-Шпиганович А. В. 40  
Козаков И. С. 251  
Козел А. В. 220  
Комар А. Ю. 42, 44  
Комар С. А. 44  
Константинов А. В. 15, 154  
Кораблёв А. П. 10  
Коржова Д. С. 157  
Королевич А. Э. 139

Кошель С. А. 139  
Краснова Е. Д. 34  
Кривобок А. С. 162  
Кугач В. А. 159  
Куделина Т. Н. 154, 159, 162, 165  
Куликова Е. Я. 21, 80  
Куфко И. Э. 154  
Кушневская Е. В. 29, 103  
Лабунская Е. А. 34  
Лазарева А. М. 47  
Лазаревич Д. К. 168  
Лапицкий В. М. 50  
Лапченко Е. А. 133, 171  
Лебедько В. Н. 15  
Левкин И. А. 254  
Левковская М. В. 251  
Леготин М. Е. 54  
Лешков А. А. 60  
Лобышев В. И. 34  
Лосев Е. Л. 256  
Люшкевич В. А. 188  
Макшеева В. А. 174  
Маркевич И. М. 177  
Мартыненко А. А. 57  
Маслюков Е. А. 60  
Матыс И. С. 177  
Мацкевич В. С. 206, 220, 245  
Мельник П. Г. 57  
Минчук Е. В. 180  
Михалёва Т. Д. 139  
Молчан О. В. 159, 162, 165, 195  
Моцный В. В. 63  
Муравицкая А. О. 183, 245  
Небышинец П. А. 185  
Нестюк А. М. 66  
Никитина А. В. 198

Николаенок В. А. 139  
Нилова И. А. 254  
Новикова А. А. 70  
Овчинников И. А. 188  
Онуфрейчик В. А. 133, 190  
Осипенко Н. В. 154  
Падутов А. В. 15  
Палязова Я. З. 193  
Пантелеев С. В. 15  
Пашкевич А. В. 145  
Петров В. Н. 259  
Полевик Е. А. 195  
Полеви́кова Е. Н. 154  
Полянская С. Н. 217, 226  
Полячок Т. С. 74  
Потапова Ю. А. 198  
Пянькевіч А. У. 44  
Радченко И. Г. 34  
Роговский Н. М. 77  
Романюк А. С. 80, 259  
Рубаева А. А. 254  
Рыбинская Е. И. 142, 203  
Рымша О. С. 83  
Савенков П. Ю. 177  
Савчук С. С. 15

Садковская А. И. 87  
Сазоненко М. Д. 206  
Самович Т. В. 185  
Самохина В. В. 139, 206, 220  
Самусенко В. А. 91  
Сандрыгайло А. В. 95  
Свирид А. П. 262  
Сенько Е. А. 27  
Сидорова О. В. 100  
Сидорченко Е. С. 209  
Скомаха А. Д. 265  
Скрыпник Л. Н. 130, 174  
Скуратович Т. А. 159  
Смирнов А. А. 212  
Смирнова Е. В. 103  
Смолянина С. О. 239  
Созинов О. В. 31, 87  
Соколик А. И. 136  
Солдатов Д. К. 242  
Сысой И. П. 236  
Тараканов И. Г. 239  
Тарлецкий Е. В. 97  
Третьякова Е. С. 100  
Фенерова П. Ю. 151  
Феськов С. А. 242  
Фетисов Д. С. 57

Фролов А. А. 223  
Фролов К. Б. 151  
Фролова Н. В. 223  
Фролова Т. В. 215  
Хайретдинова В. О. 103  
Храмцов В. Н. 29  
Хрипач В. А. 223  
Христюк-Макарова Я. А. 268  
Цвижба Р. А. 270  
Цвирко Е. Д. 217  
Челядинский В. И. 206, 220, 245  
Черныш М. А. 136, 223  
Чернявская Е. А. 183  
Чечельницкая В. А. 54  
Чирская А. И. 206, 220, 245  
Чумаков Л. С. 268  
Шавалда Е. С. 106  
Шевцов Н. А. 226  
Шевцова А. А. 136  
Шеруди́ло Е. Г. 254  
Шибаета Т. Г. 254  
Эрматова Г. З. 110  
Ячник А. В. 223

*Научное издание*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ**

**Сборник материалов IV Международной научной конференции  
молодых ученых  
(Минск–Браслав, 16–18 сентября 2025 года)**

Ответственный за выпуск *Е. С. Шавалда*  
Технический редактор *Н. А. Еловская*

*Материалы опубликованы в авторской редакции.  
Ответственность за достоверность фактов, цитат,  
собственных имен и других сведений несут авторы.*

Подписано в печать 31.08.2025. Формат 60х80/8.  
Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл.печ.л. 23,83.  
Тираж 80 экз. Заказ № 553.

Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов Республики Беларусь».  
Свидетельства о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/161 от 27.01.2014, № 2/41 от 29.01.2014.  
Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.