

ISSN 2077-3366

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДНР
ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES OF DPR
DONETSK NATIONAL UNIVERSITY

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

Научно-практический журнал

№ 3–4

Основан в 1999 г.

PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION OF TECHNOGENIC REGION

Scientific and practical journal

№ 3–4

Founded in 1999

2022

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 3–4

В журнале «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона» публикуются статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов вузов и научно-исследовательских организаций, которые охватывают широкий круг вопросов экологической, а также флористической, фаунистической, биофизической и физиологической направленности, которые касаются проблем экологии и охраны природы.

Предназначен для специалистов в области экологии, ботаники, зоологии, физиологии растений, человека и животных, биофизики, охраны природы, а также для преподавателей и студентов биологических, экологических факультетов и кафедр высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Беспалова С. В. , проф., д-р физ.-мат. наук (<i>главный редактор</i>)	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Горецкий О. С. , проф., д-р биол. наук (<i>зам. главного редактора</i>)	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Алемасова А. С. , проф., д-р хим. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Глухов А. З. , проф., д-р биол. наук	ГБУ «Донецкий ботанический сад»
Демченко С. И. , доц., канд. биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Мацюра А. В. , проф., д-р биол. наук	ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»
Остапко В. М. , проф., д-р биол. наук	ГБУ «Донецкий ботанический сад»
Прокопенко Е. В. , доц., канд. биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Сафонов А. И. , доц., канд. биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Соболев В. И. , проф., д-р биол. наук	Гуманитарно-педагогическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»
Труш В. В. , доц., канд. мед. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Штирц А. Д. , доц., канд. биол. наук (<i>отв. секретарь</i>)	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по группе научных специальностей 03.02.00 – общая биология (приказ МОН ДНР № 1134 от 01.11.2016 г.). Журнал включен в Перечень РИНЦ (лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г.).

Свидетельство о регистрации СМИ, выданное Министерством информации ДНР:
Серия ААА № 000073 от 21.11.2016 г.

Адрес редакции:

283050, Россия, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310
Донецкий национальный университет,
Биологический факультет
Тел.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19
Сайт журнала: <http://donnu.ru/ecolog>
e-mail: eco-1999@mail.ru

Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
протокол № 8 от 30.12.2022 г.

© ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 2022

Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2022. № 3–4

Papers of academic staff, scientific employees and post-graduate students of high schools and research organizations cover a wide range of questions of ecological, floristic, faunistic, biophysical and physiological orientation and touches problems of ecology and nature protection.

It is intended for ecologists, botanists, zoologists, plants physiologists, man and animals physiologists, biophysics, experts in nature protection and for teachers and students of biological and ecological faculties of higher educational institutions.

Editorial Board

Bespalova S. V. (Editor-in-Chief)	Donetsk National University
Goretsky O. S. (Associate Editor)	Donetsk National University
Alemasova A. S.	Donetsk National University
Glukhov A. Z.	Donetsk Botanical Garden
Demchenko S. I.	Donetsk National University
Matsyura A. V.	Altai State University
Ostapko V. M.	Donetsk Botanical Garden
Prokopenko E. V.	Donetsk National University
Safonov A. I.	Donetsk National University
Sobolev V. I.	Humanities and Education Science Academy
Trush V. V.	Crimean Federal University
Shtirts A. D. (Managing editor)	Donetsk National University

Journal is included in the List of scientific specialized editions of Biological sciences: group of scientific specialties 03.02.00 – general biology (order of MES DPR № 1134 dated 01.11.2016).

Journal is included in the List of Russian scientific citation index (license agreement № 378-06/2016 dated 24.06.2016).

Certificate of registration of the media, issued by the Ministry of Information DPR: Series AAA № 000073 of 21.11.2016.

Address of editorial board:

Faculty of Biology, Donetsk National University,
Schorsa str., 46/310, Donetsk, DPR, Russia, 283050.
Tel.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19
Web-site of journal: <http://donnu.ru/ecolog>
e-mail: **eco-1999@mail.ru**

*Printed by decision of Donetsk National University Scientific Council
proc № 8 dated 30.12.2022*

© Donetsk National University, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

100 лет со дня рождения выдающегося биолога Михаила Лукича Ревы	6
---	---

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Сафонов А. И. Ландшафтно-индикационные разработки как элемент оптимизации техногенных экотопов (к 100-летию профессора М. Л. Ревы)	7
Калинина А. В. Изменчивость морфометрических параметров <i>Oenothera depressa</i> Greene в ценопопуляциях трансформированных экотопов г. Макеевки	16
Мирненко Н. С. Виды адвентивной флоры Донбасса в контексте палинологических экспертиз	21

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Амолин А. В. Материалы к изучению медоносных растений Донбасса. Сообщение I. Весенние и весенне-раннелетние медоносы	30
Оголь И. Н. Инвазия паразитоида <i>Elasmus schmitti</i> Ruschka, 1920 и его гиперпаразитоида <i>Baryscapus elasmii</i> (Graham, 1986) (Hymenoptera: Eulophidae) в популяциях ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: Polistes) города Донецка	42
Савченко Е. Ю. Эколого-фаунистический обзор стрекоз (Insecta: Odonata) Республиканского ландшафтного парка «Зуевский»	51

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Демченко С. И. Эффективность деструкции твердых растительных отходов при глубинном культивировании гриба <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm. Д-2.3	56
Загнитко Ю. П., Палагута А. П. Оптимизация питательной среды с использованием цитрусового пектина как индуктора ферментов пектолитического действия при культивировании базидиальных ксилотрофов	63
Фрунзе О. В. Изменение морфометрических показателей декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами хрома	68
Чайка А. В. Оптимизация процесса трансформации растительных отходов базидиомицетом – продуцентом лигниназ с целью получения органических удобрений	76
Штириц Ю. А., Уразова А. Н. Асимметрия верхушки и основания листовой пластинки <i>Betula pendula</i> Roth в условиях Донецко-Макеевской городской агломерации	81
Правила для авторов	86

C O N T E N T S

100 years since the birth of the outstanding biologist M. L. Reva	6
---	---

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Safonov A. I. Landscape-indicating developments as an element of optimization of technogenic ecotopes (to the 100th anniversary of Professor M. L. Reva)	7
Kalinina A. V. Variability of morphometric parameters of <i>Oenothera depressa</i> Greene in cenopopulations of transformed ecotopes of Makeevka	16
Mirnenko N. S. Types of adventitious flora of Donbass in the context of palynological examinations	21

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Amolin A. V. Materials for the study of the honey plants of Donbass. Message I. Spring and spring-early summer honey plants	30
Ogol I. N. Invasion of the parasitoid <i>Elasmus schmitti</i> Ruschka, 1920 and its hyperparasitoid <i>Baryscapus elasmii</i> (Graham, 1986) (Hymenoptera: Eulophidae) in populations of <i>Polistes</i> wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistes) in Donetsk city	42
Savchenko E. Yu., Stratiychuk A. A. Ecological and faunal review of dragonflies (Insecta: Odonata) of the Republican landscape park «Zuevsky»	51

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Demchenko S. I. The efficiency of destruction of solid plant waste during deep cultivation of the fungus <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm. D-2.3	56
Zagnitko Yu. P., Palaguta A. P. Optimization of the nutrient medium using citrus pectin as an inducer of pectolytic enzymes in the cultivation of basidial xylotrophs	63
Frunze O. V. Changes in morphometric parameters of ornamental herbaceous plants in conditions of soil contamination with chromium ions	68
Chaika A. V. Optimization of the plant waste transformation process by the basidiomycete producer of ligninases, with the aim to obtain organic fertilizers	76
Shtirts Yu. A., Urazova A. N. Asymmetry of the apex and base of the leaf blade of <i>Betula pendula</i> Roth in the conditions of the Donetsk – Makeevka urban agglomeration	81
Rules for authors	86



***100 лет со дня рождения выдающегося биолога Михаила Лукича Рева
(23.12.1922 – 22.08.1996)***

М. Л. Рева прошел весь путь участника Великой Отечественной войны, награжден Орденом Отечественной войны II степени. В послевоенные годы работал в должностях от младшего научного сотрудника до директора Донецкого ботанического сада, заведовал кафедрой ботаники и занимал должность проректора по научной работе в Донецком государственном университете, проявил незаурядные способности организатора, ученого и преподавателя.

Основные научные направления деятельности Михаила Лукича: оптимизация экологических условий промышленной среды, охрана природы, размножение растений, парковое строительство, восстановление биологической продуктивности нарушенных земель. Впервые в мировой практике под его руководством были проведены работы по рекультивации шламонакопителей Славянского объединения «Химпром», восстановлено 80 га производительных земель. За решение этой проблемы М. Л. Рева награжден Серебряной и двумя Бронзовыми медалями ВДНХ СССР. Входил в состав научного совета АН СССР «Интродукция и акклиматизация растений в СССР», Совета ВАСХНИЛ «Охрана экосистем (биогеоценозов) и ландшафтов», научного совета АН УССР «Биологические основы рационального использования, преобразования и охраны растительного мира». В Донецком научном центре он возглавлял комиссию по охране фауны, флоры и почвы секции научного совета АН УССР по проблемам биосферы. Член президиума Донецкого областного и городского общества охраны природы, ректор народного университета «Природа», отмечен медалью «Отличник высшего образования СССР».

М. Л. Ревой опубликовано 240 научных работ, среди которых монографии «Страницы Красной книги», «Растения в быту», «Зеленая кладовая», «Зеленое богатство Донбасса». Студенты слушали лекции профессора по теории эволюции, экологии и охране природы, филогении растений, местной флоре. Он руководил курсовыми и дипломными работами, 22 его аспиранта стали кандидатами наук.

Михаил Лукич – основатель научной школы по вопросам рекультивации и зеленого строительства. Сегодня его ученики работают в различных регионах мира, в научно-исследовательских учреждениях, аграрных и промышленных предприятиях.

**ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА
FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM**

УДК 581.5 : 911.52 : 504.54 : (477.60)

© А. И. Сафонов

**ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ
КАК ЭЛЕМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПОВ
(К 100-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА М. Л. РЕВЫ)**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: andrey_safonov@mail.ru

Сафонов А. И. Ландшафтно-индикационные разработки как элемент оптимизации техногенных экотопов (к 100-летию профессора М. Л. Ревы). – Установлено, что ландшафтно-индикационный подход в изучении геосистем Донбасса традиционно является функциональным, информативным и актуальным в связи с востребованностью проведения диагностических мероприятий в регионе. На основании рабочей классификации М. Л. Ревы, предложенной в 1975 г., проводятся многие экологические исследования территории современного центрального Донбасса. Эмпирически сформированная классификация техногенных экотопов М. Л. Ревы является научно-методологической основой для планирования и реализации программ биоэкологического мониторинга и экспертизы состояния антропогенно трансформированной среды в Северном Приазовье.

Ключевые слова: техногенные ландшафты Донбасса, фитоиндикация, антропогенные экотопы, М. Л. Рева.

Введение

Биоразнообразие в экосистемах глубоких антропогенных трансформаций испытывает стимулирующую индукцию адаптациогенеза для всех форм жизни, составляющих эко- и биотопы на разных сукцессионных стадиях. В таких условиях задача многих натуралистических исследований и биотехнологических разработок заключается в определении роли каждого вида в его стремлении сформировать устойчивое сообщество при соответствии макроклиматическим характеристикам и возможностям выживания каждой отдельной особи в локальных токсических условиях. Примером успешной организации научно-исследовательской работы в условиях открытых ландшафтных фитосистем промышленного Донбасса является деятельность доктора биологических наук, профессора, заведующего кафедрой ботаники Донецкого государственного университета Михаила Лукича Ревы (1922–1996 гг.), научное наследие которого [13, 14] является и на сегодняшний день методологической основой для планирования и проведения полифункциональных [2, 4, 6, 11, 28, 30] или узкоспециализированных [1, 7–10, 17, 21, 31] экспериментов ботанико-экологического содержания и хозяйственно полезного назначения в антропогенно трансформированных экотопах.

Цель работы – на основании авторских разработок и иллюстративных примеров профессора кафедры ботаники Донецкого государственного университета Михаила Лукича Ревы выделить современные ландшафтно-индикационные исследования, которые по своему характеру исполнения согласуются с авторскими методиками и сформированным традиционным подходом при проведении научного эксперимента в промышленном регионе.

В год исполнения 100 лет со дня рождения М. Л. Ревы к публикации были подготовлены некоторые сведения, отражающие преемственность научных открытий 50–70-х годов XX века с современными исследованиями [12, 17, 18], что в целом сохраняет традицию освещения историко-биологических фактов о выдающихся ученом Донбасса [5], – как пример нравственной организации жизни и работы в техногенно напряженном регионе.

Материал и методы исследования

В работе представлены данные ретроспективного анализа по технологии изучения промышленных ландшафтов Донбасса и сведения о состоянии разных категорий экотопов с точки зрения фитоиндикационной изученности. Ландшафтно-экологический подход М. Л. Ревы [13, 14] согласуется со многими современными технологиями, внедряемыми на международном уровне [3, 23, 27, 29, 32], а также имеющими прямое отношение к изучению

биоразнообразия в урбанизированных агломерациях центрального Донбасса [7, 9, 20, 22, 24–26]. Для реализации фитомониторинговых программ и констатаций фактов о состоянии растений-индикаторов в принципиально различных ландшафтных системах техногенно измененной местности использовали результаты работы лаборатории кафедры ботаники и экологии [15, 16, 19] в непосредственном сотрудничестве с кафедрой аналитической химии Донецкого национального университета [1] и кафедрой геоинформатики Донецкого национального технического университета [20].

Пробные площадки (узлы локализации фитомониторинговой сети) соотнесены как по локальным геоинформационным характеристикам, так и по категориям экотопов в соответствии с рабочей классификацией М. Л. Ревы (рис. 1). Представление материалов по типам, классам и группам ландшафтов Донбасса в таком виде (см. рис. 1) обусловлено необходимостью публикационного обнародования единственного сохранившегося документа на эту тему, выполненного автором, и представляющего на сегодня музейный экспонат Донецкого национального университета. Изначально сформированная рабочая классификация как научный продукт эмпирического характера представляет собой ценность в проведении полевых исследований, носящих преимущественного диагностический характер (оценка, комплексный и ингредиентный мониторинг, выявление факторов экологического риска и резкого антропогенного импакта).

Результаты и обсуждение

При анализе классификационной схемы техногенных ландшафтов Донбасса, предложенной М. Л. Ревой в 1975 г. (см. рис. 1), установлены следующие особенности, имеющие значение для актуальной научно-практической деятельности:

- уникальность региональной модели отражена в эксклюзивности терминологического аппарата на русском языке, что не имеет прямых аналогов для перевода на другие языки мира, но позволяет дифференцировать экотопы по способу их хозяйственного использования и специфике техногенного импакта, например, «промышленно-индустриальные ландшафты», «сторожевые курганы», «шлаковые поля»;

- идеология классификации логически согласуется с последовательностью эксплуатации человеком ресурсов региона в историческом аспекте: от лугово-пастбищных и лесных классов, через сельскохозяйственные и селитебные к промышленно-индустриальным с разветвленной сетью типификаций и выделений групп как факторов, формирующих резкие переходы геохимической среды по сравнению с континуальными природными циклами;

- в отдельных категориях рассмотрены водные ландшафты, которые преимущественно имеют азональные особенности своей дислокации, соединяя все остальные классы ландшафтов с конкретным геолокалитетом; некоторые типы водных ландшафтов также могут быть рассмотрены как варианты промышленно-индустриальных, например, пруды-накопители и пруды-отстойники промышленных предприятий; автор также подчеркивает искусственный характер целевого формирования многих водных объектов, а также их относительную динамичность, вплоть до исчезновения культивируемых характеристик в связи с сезонными особенностями или с утратой хозяйственной необходимости;

- в эколого-токсическом аспекте изучения разнообразия экосистем Донбасса наибольшую ценность при дифференциации ландшафтов на группы представляет собой дробность карьерно-отвальных и аккумулятивно-отвальных типов ландшафтов: отвалы горных вскрышных пород, гидроотвалы, промышленный карст, карьеры открытой разработки ископаемых отделены от породных и шлаковых отвалов, золоотвалов и шламонакопителей, в чем выделяется функциональная разница для диагностических мероприятий, например, по фитоиндикации и мониторингу с использованием видов растений стресс-устойчивой стратегии выживания в указанных экотопах;

- классификация предусматривает перспективное дополнение в классе, например, для прочих антропогенных ландшафтов, что может быть связано с появлением неоспецифической формы воздействия на экосистемы, а также в типах дорожных и коммуникационно-силовых ландшафтов для последующего деления на группы.

ТЕХНОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ ДОНБАССА

Классы	Типы	Группы
I. Дугово-пастбищные ландшафты	1. Мелиорированные луга 2. Улучшенные пастбища	
2. Лесные ландшафты	3. Искусственные насаждения 4. Противозерозионные массивные насаждения 5. Мелиоративные насаждения 6. Рекреационные леса	
3. Сельскохозяйственные ландшафты	7. Распахиваемые земли 8. Террасированные склоны 9. Орошительные пруды-накопители	
4. Селитебные ландшафты	10. Сельские селитебные ландшафты 11. Поселковые одноэтажные селитебные ландшафты 12. Городские многоэтажные селитебные ландшафты	
5. Водные ландшафты	13. Водохранилища и искусственные моря 14. Пруды оросительные 15. Пруды-накопители и пруды-отстойники промышленных предприятий 16. Реки, в которые сбрасываются промышленные стоки	
6. Промышленно-индустриальные ландшафты	17. Карьерно-отвальные ландшафты	а) обнажения и отвалы горных вскрышных пород б) гидроотвалы в) промышленный карст г) карьеры открытой разработки ископаемых
	18. Аккумулятивно-отвальные ландшафты	а) породные отвалы шахт и обогажительных фабрик б) шлаковые отвалы металлургических производств в) шлаковые поля, золоотвалы г) шламонакопители
	19. Промышленные и городские пустыри	а) свалки и места скопления промышленного мусора б) свалки бытового мусора
	20. Дорожные ландшафты 21. Коммуникационно-силовые ландшафты	
7. Прочие антропогенные ландшафты	22. Могилинные и сторожевые курганы	

Рис. 1. Классификация техногенных ландшафтов Донбасса М. Л. Ревы (музейный экспонат ДонНУ)

В категории прочих антропогенных ландшафтов (см. рис. 1) отмечены могильные и сторожевые курганы, что также отражает специфику этно-исторических процессов в регионе и выделяет культурологическую функцию при анализе всей классификации, – опытным путем установлено, что большинство таких типов ландшафтов составляют на сегодня буферные территории природно-заповедного фонда Донецкой Народной Республики.

Предложенное разнообразие техногенных ландшафтов позволяет современным исследователям проводить достоверный анализ территории, учитывая принадлежность каждого локалитета к конкретной классификационной единице:

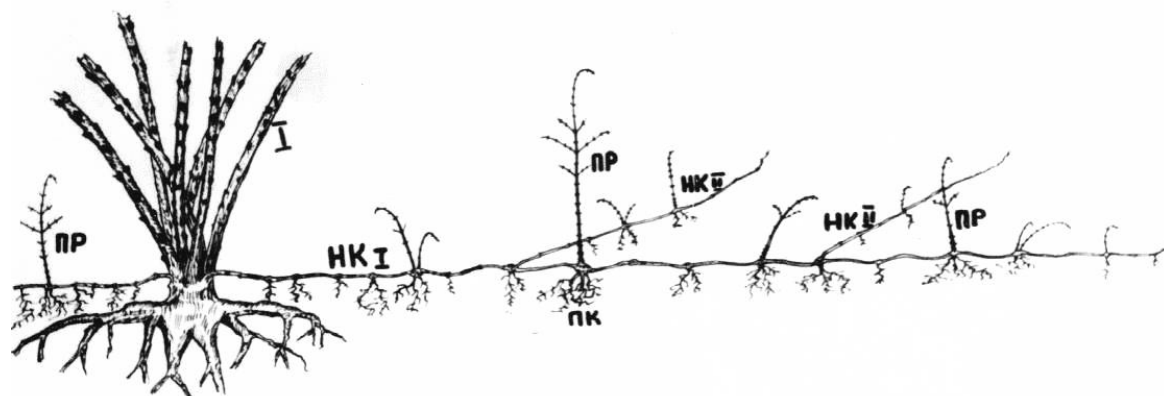
- это детерминирует проведение сравнительного анализа экотопов в рамках одного типа воздействия на природные среды, что важно, например, для территорий металлургических комбинатов, предприятий коксохимического производства, отдельных шламонакопителей (в этом аспекте апробированы технологии изучения семенного (карпологического и эмбриологического) материала видов растений *Amaranthus retroflexus* L., *Atriplex patula* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Polygonum aviculare* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L. и др.;

- не во всех случаях фитоиндикационная характеристика может быть представлена в картографическом материале как плоскостная закономерность (из-за отсутствия некоторых видов или их состояния в конкретных ландшафтах), поэтому необходимо оперировать теми данными, которые могут иметь ранжированный экологический ряд как основу при формировании квантификационной шкалы, например, по реализации вегетативных стратегий выживания видов *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Sagina procumbens* L., *Persicaria maculosa* Gray и др.;

- использование анализируемой классификации упрощает технологию выбора объектов для реализации отдельных сценариев экологического мониторинга, например, для фонового анализа важными являются характеристики жизненного состояния и габитуальной нормы *Cichorium intybus* L., *Reseda lutea* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., для импактного мониторинга по загрязнению воздушной среды – структурные характеристики покровных тканей как пограничных барьеров в системе воздействия на растительный организм, что также апробировано для видов *Erucastrum armoracioides* (Czern. ex Turcz.), *Gypsophila paniculata* L., *Amaranthus albus* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Achillea collina* J. Becker ex Rchb., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Centaurea diffusa* Lam., *Agrostis stolonifera* L.; для ингредиентного мониторинга по загрязнению техноземов или строительных субстратов рекомендованы к использованию виды с широкой экологической амплитудой и высоким уровнем фенотипической пластичности в барьерной последовательности «субстрат – корень – побеговая система», например, *Stellaria subulata* Boeber ex Schlecht, *Nigella arvensis* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Atriplex mircantha* C. A. Mey., *Cynoglossum officinale* L., *Portulaca oleracea* L.

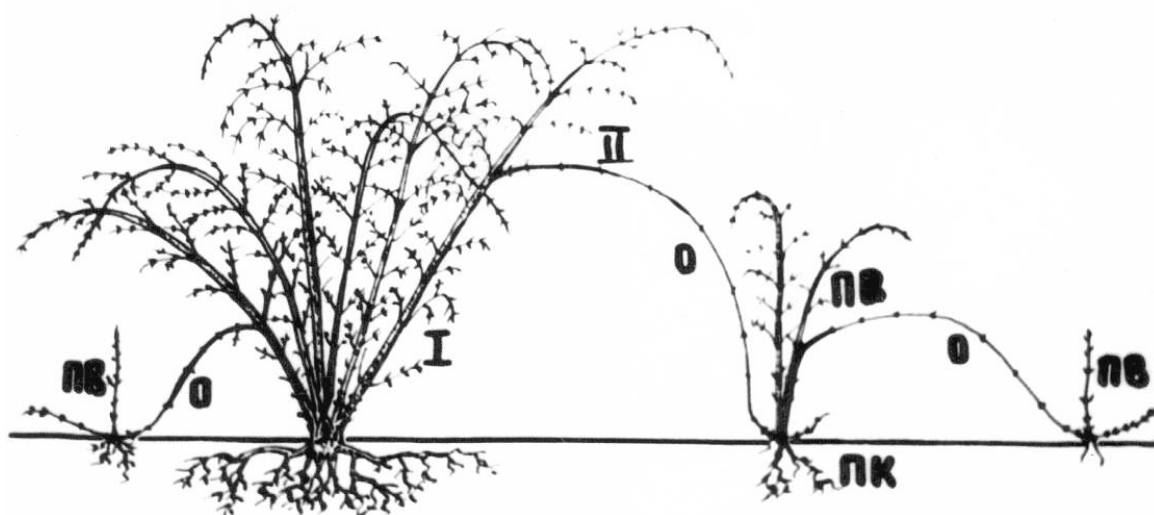
Установлено, что карьерно-отвалы ландшафты (согласно анализируемой классификации) могут быть оценены с помощью аут- и демографо-фитоиндикационных методов, поскольку данные о структуре популяции видов разных стратегий захвата территории и способов выживания в токсически неблагоприятной среде [18] дают информацию о стадиях сукцессионных процессов и эффективности зарастания террикона или другого элемента нео-ландшафтной характеристики, что важно в квантификации рекультивационных работ. Такие методы важны в оптимизационных мероприятиях по облагораживанию техногенной среды и существенному снижению токсического воздействия на сопредельные территории и экосистемы.

Этому аспекту в работах М. Л. Ревы были посвящены отдельные фундаментальные и прикладные вопросы, публикации, разработаны технологии интенсификации способов фиторекультивационных работ на нарушенных территориях. В основу таких подходов положена концепция структурной пластичности видов и их адаптаций к факторам стресса (рис. 2).

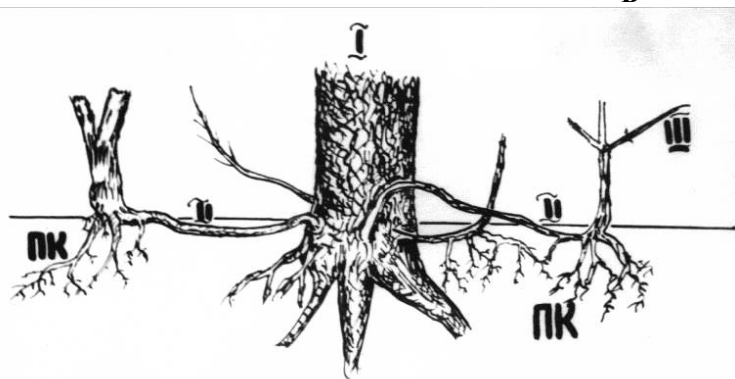


I – ось I порядка
 НК I – надземное корневище I порядка
 НК II – " " " II " "
 ПР – побеги размножения
 ПК – придаточные корни

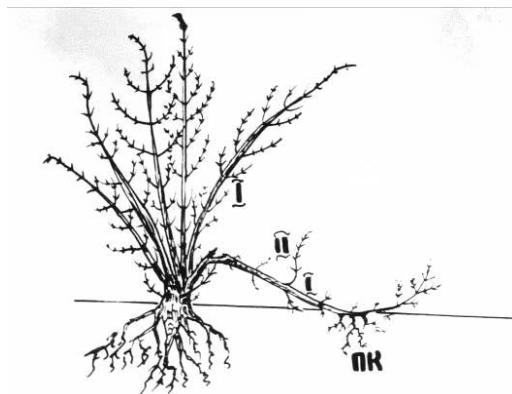
А



Б



В



Г

Рис. 2. Варианты авторского изображения М. Л. Ревой модусов мобильности древесных и кустарниковых растений как объектов оптимизационных технологий в антропогенно нарушенных экотопах Донбасса:
 А – *Symphoricarpos orbiculatus* Moench; Б – *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl; В – универсальная схема формирования прикорневых порослевых побегов при вегетативном размножении фанерофитов;
 Г – схема вегетативного размножения кустарников укоренением базовых побегов (технология оптимизации) (музейный экспонат ДонНУ)

Структурная пластичность как вариант фенотипической разницы видов растений в контрастных геохимических условиях при индуцированном процессе направленных приспособлений к неблагоприятным факторам среды является также основой реализации программы фитоиндикационного мониторинга в Донбассе, поскольку выявление информационной значимости видов основано на структурном шкалообразовании и дальнейшей индексации характеристик функционального строения в соответствии со степенью и спецификой антропогенного воздействия на ландшафт.

Основное внимание при подготовке микропрепаратов М. Л. Ревой было уделено частям растений, имеющим ткани с тотипотентными характеристиками, то есть меристематической активностью первичного и вторичного типа, чтобы направить точки роста на способы вегетативного размножения. Также важный функциональный эффект был достигнут в значительном превалировании вегетативного размножения, что обеспечило быструю успешность технологии по озеленению формами (экологическими подвидами) тех особей, которые прошли процесс первичного сукцессионного выживания на токсически агрессивном субстрате. Если же подобная задача стояла при использовании технологий генеративного способа размножения, тогда это требовало большей экспозиции эксперимента. При расщеплении признаков и наследовании тех или иных приобретенных свойств многие особи последующих генераций утрачивали способность к выживанию, но всегда оставался определенный процент (2–3 %) особей из нового поколения, обладающих признаками устойчивости высокого уровня, который невозможно было получить только путем вегетативного размножения. Поэтому при рекультивационных и индикационных разработках внимание уделяется в комплексе как вегетативным соматическим преобразованиям видов, так и возможности закрепления успешных признаков в следующих поколениях преимущественно в результате спонтанного мутационного процесса.

М. Л. Ревой были также самостоятельно получены микроструктурные фотоматериалы, поперечные и продольные срезы древесных и кустарниковых растений на разных этапах использования в фиторекультивационном эксперименте (эти данные проанализированы в отдельной публикации [17]). Обозначены признаки гистологических особенностей морфогенеза растений (точки роста) в модусах строения и мобильности растений, используемых преимущественно в программах по озеленению террикоников, механизмы появления меристематической активности в тех частях растения, которые способны сформировать отдельную особь путем вегетативного размножения.

Ранее отмечено [18], что из категории карьерно-отвалных ландшафтов выделены группы в аспекте сопряжения с фитоиндикационными разработками:

1) индексы по соотношению жизненных форм доминатов и асектаторов, что также отражает способы компактизации экологических ниш в тех условиях, где требуется формирование вторичных сукцессионных рядов, продуктивных и самоподдерживающихся сообществ, хотя в таких ситуациях резко возрастает роль фитоценотического барьера, – преимущество имеют те особи, которые по своей пластичности способны корректировать жизненную стратегию под меняющиеся условия среды и в борьбе за ресурсы (в первую очередь за фактор увлажнения);

2) преимущество при сборе информации на гидроотвалах отдается видам мохообразных с широкой экологической амплитудой, высокой аккумулятивной способностью к токсикантам и стресс-устойчивой стратегией выживания, например, виды *Tortula muralis* Hedw., *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp., *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al., *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., *Leskea polycarpa* Hedw., *Orthotrichum speciosum* Nees и *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., однако в этой серии экспериментов по фитодиагностическому аспекту важно еще сохранить значение фактора инсоляции в минимальных параметрах, то есть забор образцов нужно проводить с северных склонов и границах локальных водоразделов при формировании микрорельефа;

3) промышленный карст анализируется по фитоиндикационным критериям в группе видов сорно-рудеральной фракции местной флоры, например, при использовании

структурно-функциональных характеристик (поверхность листового аппарата, структурная гетерогенность пыльцевого и семенного материала, способы формирования архитектоники и побегообразования) видов *Plantago lanceolata* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Achillea nobilis* L., *Tanacetum vulgare* L., *Amblystegium subtile* (Hedw.) Schimp., *Papaver rhoeas* L., *Atriplex mircantha* C. A. Mey., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Melilotus albus* Medik. и др.;

4) карьеры открытой разработки ископаемых оценены по данным обилия видов (*Amaranthus retroflexus* L., *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *Chelidonium majus* L., *Cynoglossum officinale* L., *Radula complanata* (L.) Dumort., *Rumex crispus* L.), рудеральной стратегии, использование которых формирует тренд токсической нагрузки на ландшафтные системы.

Таким образом, классификационные единицы при идентификации техногенных ландшафтов Донбасса сопряжены со способами выживания растений и соответствующими технологиями их использования в оптимизационных и индикационных целях, что объединяет как прикладное направление по фиторекультивации, так и позволяет осуществлять задачи пассивного и активного экологического фитомониторинга в старопромышленном регионе с нео-антропогенными воздействиями как следствие социальных конфликтов на территории Северного Приазовья.

Выводы

Классификационная схема техногенных ландшафтов М. Л. Ревы на сегодня является основой для реализации биоэкологического эксперимента диагностического характера, устанавливающего не только степень трансформации ландшафтной единицы, но и дифференцированный уровень токсического воздействия на природные среды.

В основе концептуального подхода фиторекультивационных работ, реализованных непосредственно М. Л. Ревой, лежит морфоструктурная адаптация растений к неблагоприятным условиям промышленной среды и селективный отбор тех видов, которые реализуют свой адаптационный потенциал, что также в полной мере сопряжено с актуальной методикой использования растений в качестве индикаторов состояния открытых природных систем.

Работа выполнена в рамках инициативной научной темы биологического факультета ДонНУ «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация» с государственной регистрацией № 0122D000085.

Список литературы

1. Алмасова А. С., Сафонов А. И. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 5–13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-5-13>
2. Бадмаева С. Э., Космаков В. И., Бадмаева Ю. В., Бакач А. А. Формирование техногенного ландшафта при добыче полезных ископаемых // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5 (158). С. 69–72. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-5-69-72>
3. Быкова Г. И., Косточкина О. В., Иванова Е. И. Ландшафтная рекультивация открытых горных карьеров – инновационное направление в архитектуре // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2021. № 2. С. 127–137. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2102-08>
4. Глухов А. З., Сафонов А. И. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. 2002. Т. 2. С. 7–14.
5. Горецкий О. С., Столярова Т. П., Сафонов А. И. К 115-летию выдающегося биолога Фёдора Львовича Щепотьева (1906–2000) // Историко-биологические исследования. 2021. Т. 13, № 4. С. 169–183. <https://doi.org/10.24412/2076-8176-2021-4-169-183>
6. Епринцев С. А., Куропан С. А., Клепиков О. В. Геоинформационный анализ факторов экологической безопасности городов Центрально-Черноземного региона России // Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде : матер. Междунар.

конференции. Грозный : Чеченский гос. ун-т им. А. А. Кадырова, 2022. С. 37–41. <https://doi.org/10.36684/72-1-2022-37-41>

7. Жуков С. П. Флористическое разнообразие антропогенных экосистем центральной части Донбасса // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4 (1). С. 118–122. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10099>

8. Ильминских Н. Г., Красноперова С. А. Тератоморфы сосудистых растений в спонтанной флоре арктических и субарктических районов Тюменской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2022. Т. 8, № 4. С. 72–81.

9. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 135–144. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12>

10. Мирненко Н. С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 55–61. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-55-61>

11. Осинцева М. А., Миленьева И. С., Голубцова Ю. В. Физико-химический анализ почвенного покрова техногенно нарушенных территорий Кузбасса // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, № 2 (52). С. 252–262. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-2-252-262>

12. Петкогло О. В., Сафонов А. И. Ретроспективный анализ интерьерной и ландшафтной фитооптимизации промышленной среды (к 100-летию профессора М. Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А : Естественные науки. 2022. № 3. С. 72–79.

13. Рева М. Л. Возобновления растительного покрова в специфических условиях техногенных ландшафтов Донбасса // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М. : Наука, 1978. С. 136–147.

14. Рева М. Л., Хархота А. И. Растительность техногенных земель в Донбассе // Растения и промышленная среда. Свердловск : УрГУ, 1978. С. 33–34.

15. Сафонов А. И. Ботанико-экологические маркеры квантификации природных сред в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 40–47.

16. Сафонов А. И. Эмпирика фитокоантификации антропогенно трансформированной среды // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 42–47.

17. Сафонов А. И. Структурные аспекты оптимизации и фитоиндикации ландшафтов Донбасса (к 100-летию профессора М. Л. Ревы) // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. 2022 а. № 1. С. 135–140.

18. Сафонов А. И. Фитоиндикация промышленно-индустриальных ландшафтов Донбасса // Современные исследования в науках о Земле : ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения : Матер. Междунар. конф. Астрахань : Астраханский гос. ун-т, 2022 б. С. 154–156.

19. Сафонов А. И. Опыт построения аутфитоиндикационных экологических шкал для антропогенно трансформированного региона // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. 2022 в. № 3. С. 80–86.

20. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Комплексный показатель нарушенности экотопов по фитоиндикационному критерию в г. Донецке // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. 2019. № 3–4. С. 171–175.

21. Ткачева Е. В., Галкина М. А., Стогова А. В. Терриконы в г. Сафонове Смоленской области: растительный покров 20 лет спустя // Трансформация экосистем. 2021. Т. 4, № 4 (14). С. 54–64. <https://doi.org/10.23859/estr-210625>

22. Фрунзе О. В. Фиторемедиация почв, загрязненных ионами тяжелых металлов, с помощью древесных и кустарниковых растений // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 92–98. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-92-98>
23. Черных Н. А., Баева Ю. И., Карабанова Д. Н., Нечепуренко А. И. Мониторинг состояния окружающей среды в зоне влияния полигона промышленных и бытовых отходов методами биоиндикации // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 9. С. 38–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-9-38-43>
24. Штирц А. Д. Панцирные клещи (Acari: Oribatida) техногенно трансформированных экосистем Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021 а. № 1–2. С. 67–71.
25. Штирц А. Д. Особенности экологической структуры сообществ панцирных клещей рекультивированного и нереккультивированного отвалов угольных шахт г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021 б. № 3–4. С. 73–86.
26. Mirnenko E. I. Taxonomic diversity of phytoplankton of the Kalmius River and its reservoirs // Ecosystem Transformation. 2022. Vol. 5, N 2(16). P. 3–13.
27. Pashentsev D. A., Abramova A. I., Eriashvili N. D., Grimalskaya S. A., Gafurova A. Ya., Kharisova G. M., Karpenko G. V., Avilova V. V. Digital software of industrial enterprise environmental monitoring // Ekoloji. 2019. Vol. 28 (107). P. 243–251.
28. Sokolov D. A., Androkhonov V. A., Abakumov E. V. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) // Tomsk State University Journal of Biology. 2021. N 56. P. 6–32. <https://doi.org/10.17223/19988591/56/1>
29. Sukhacheva E. U., Aparin B. F. Soil cover patterns in anthropogenically transformed landscapes of Leningrad oblast // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52, N 9. P. 1146–1158. <https://doi.org/10.1134/S1064229319070123>
30. Teodosiu C., Robu B., Cojocariu C., Barjoveanu G. Environmental impact and risk quantification based on selected water quality indicators // Natural Hazards. 2015. Vol. 75. P. 89–105. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0637-7>
31. Yu H., Huang J., Ji C., Li Z. Construction of a landscape ecological network for a large-scale energy and chemical industrial base: a case study of Ningdong, China // Land. 2021. Vol. 10, N 4. P. 344. <https://doi.org/10.3390/land10040344>
32. Zaghloul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems // Bulletin of the National Research Centre. 2020. Vol. 44, N 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>

Safonov A. I. Landscape-indicating developments as an element of optimization of technogenic ecotopes (to the 100th anniversary of Professor M. L. Reva). – It has been established that the landscape-indicating approach in the study of Donbass geosystems is traditionally functional, informative and relevant due to the demand for diagnostic measures in the region. Based on the working classification of M. L. Reva, proposed in 1975, many ecological studies of the territory of the modern central Donbass are being carried out. An empirically formed classification of technogenic ecotopes by M. L. Reva is a scientific and methodological basis for planning and implementing programs of bioecological monitoring and expertise in the anthropogenically transformed environment in the Northern Sea of Azov.

Key words: technogenic landscapes of Donbass, phytoindication, anthropogenic ecotopes, M. L. Reva.

© А. В. Калинина

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *OENOTHERA DEPRESSA* GREENE В ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОТОПОВ Г. МАКЕЕВКИ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: a.kalinina@donnu.ru

Калинина А. В. Изменчивость морфометрических параметров *Oenothera depressa* Greene в ценопопуляциях трансформированных экотопов г. Макеевки. – Представлены результаты определения особенностей изменчивости морфометрических параметров особей *Oenothera depressa* Greene в трансформированных экотопах г. Макеевки. Выявлены уровни внутривидовой изменчивости, диапазоны варьирования параметров. Наиболее изменчивыми признаками определены длина генеративной оси (Lr), количество плодов (N_{FR}), ветвление (B).

Ключевые слова: адвентивные виды, трансформированный экотоп, изменчивость, коэффициент вариации.

Введение

Распространение адвентивных видов – это стремительно нарастающий процесс, который является первоочередной угрозой биологическому разнообразию аборигенных флор [11, 12]. Интенсивность внедрения чужеродных видов и их инвазионная способность отличаются в разных регионах, что обуславливает необходимость их изучения и оценивания последствий адвентизации. Успешные заносные виды растений способны произрастать в широком диапазоне экологических условий, что часто сопряжено с их высокой пластичностью и изменчивостью [1, 11, 12].

В эколого-демографическом анализе особый интерес представляет оценка изменчивости морфометрических параметров чужеродных видов, так как именно они являются основным показателем адаптационного механизма выживания видов [6–10, 11, 14]. Кроме того, специфичность варьирования морфологических признаков имеет особое значение при проведении таксономической идентификации растительных образцов.

Цель работы – провести анализ изменчивости ряда морфометрических параметров ценопопуляций *Oenothera depressa* Greene в трансформированных экотопах г. Макеевки.

Материал и методы исследования

Oenothera depressa (синоним *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don [13]) относится к семейству Onagraceae. Представители данного семейства активно распространяются во вторичные ареалы, характеризуются высокой степенью натурализации. Особенность видов рода *Oenothera* заключается в своеобразном механизме размножения, способности свободно скрещиваться, производить гибриды, которые в дальнейшем могут получить статус самостоятельных видов [11–13]. Естественным ареалом обитания *Oe. depressa* являются умеренные широты Америки [11].

На территории Донбасса виды рода *Oenothera* встречаются в антропогенных и полустественных местообитаниях, имеют адвентивный статус [5].

Исследовано 5 ценопопуляций (ЦП) *Oe. depressa* в трансформированных экотопах г. Макеевки.

ЦП 1 и ЦП 2 сформированы на породном отвале шахты Калиновская-Восточная в Советском районе г. Макеевки. Ценопопуляции расположены на расстоянии 17 м, разделены древесно-кустарниковой растительностью. ЦП 1 имеет размер 12х10 м, отмечена на данном месте на протяжении 10 лет. ЦП 2 имеет размеры 6х5 м, период наблюдения – 5 лет.

ЦП 3 сформирована на железнодорожных путях территории угольной шахты Калиновская-Восточная в Советском районе г. Макеевки. Размер ценопопуляции – 15х4 м. Период наблюдения составил 4 года.

ЦП 4 выявлена на железнодорожном переезде в Горняцком районе г. Макеевки. Размер ценопопуляции – 4х3 метра. Сроки изучения – 5 лет.

ЦП 5 произрастает в сорно-бытовом экотопе Горняцкого района г. Макеевки. Размер ЦП 5 – 6х10 м, период произрастания – 3 года.

Исследование морфометрических параметров проводили в течение вегетационного периода 2022 г. В каждой ценопопуляции у 20–25 генеративных особей измеряли следующие параметры: высота (Н), ветвление (В), длина генеративной оси (L_r), количество узлов (N_{Kn}), количество плодов (N_{FRr}), количество листьев (N_L) на главном побеге.

При математической обработке данных рассчитывали пределы варьирования признака (min–max), среднее арифметическое и его ошибку ($\bar{x} \pm S_x$), коэффициент вариации (CV, %).

Внутривидовая изменчивость морфологических признаков растения изучена по методике С. А. Мамаева [7]. В качестве меры изменчивости использовали коэффициент вариации (CV, %) [2, 7].

Результаты и обсуждение

Высота (Н) особей ценопопуляций *Oe. depressa* в исследованных трансформированных экотопах в среднем составила 120,29 см, варьирует в пределах от 54–211 см; средняя длина генеративной оси (L_r) – 50,84 см, амплитуда варьирования параметра – 11–123 см; среднее количество узлов (N_{Kn}) – 82,44 шт., границы варьирования признака – 43–130 шт.; ветвление (В) – 1,97 шт., лимиты – 1–8 шт.; среднее количество плодов (N_{FRr}) составило 32,35 шт., амплитуда варьирования параметра – 4–91 шт., среднее количество листьев (N_L) – 57,76 шт., амплитуда изменчивости – 43,8–62,6 шт. Наибольший размах амплитуды варьирования выявлен в случае с такими параметрами, как длина генеративной оси (L_r), количество плодов (N_{FRr}).

Особи *Oe. depressa* ЦП 1, произрастающие на породном отвале, характеризуются более высокими значениями морфометрических параметров всех исследованных признаков в сравнении с особями других исследуемых ценопопуляций (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения признаков ценопопуляций *Oenothera depressa* в трансформированных экотопах г. Макеевки

Морфометрические параметры	ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5
Высота Н, см	$144,33 \pm 15,64$ 83–206	$148,91 \pm 6,99$ 86–211	$110,71 \pm 5,21$ 68–146	$92,60 \pm 2,73$ 59–110	$104,92 \pm 3,61$ 54–140
Длина генеративной оси L_r , см	$79,17 \pm 10,4$ 42–123	$50,00 \pm 5,14$ 11–112	$46,90 \pm 3,28$ 27–79	$32,41 \pm 1,71$ 18–56	$45,75 \pm 1,76$ 23–70
Ветвление В, шт.	$2,52 \pm 0,81$ 1–8	$1,92 \pm 0,28$ 1–5	$1,50 \pm 0,17$ 1–3	$2,23 \pm 0,36$ 1–4	$1,75 \pm 0,33$ 1–6
Количество узлов N_{Kn} , шт.	$108,15 \pm 11,25$ 58–130	$82,29 \pm 4,68$ 54–117	$82,90 \pm 3,47$ 57–108	$61,63 \pm 2,03$ 43–71	$77,40 \pm 3,61$ 48–96
Количество плодов N_{FRr} , шт.	$57,42 \pm 9,04$ 23–91	$21,86 \pm 3,20$ 4–64	$27,87 \pm 2,70$ 13–49	$23,15 \pm 3,32$ 10–41	$25,57 \pm 5,69$ 8–47
Количество листьев N_L , шт	$62,60 \pm 8,07$ 29–91	$44,14 \pm 3,09$ 21–63	$59,30 \pm 2,56$ 44–81	$43,89 \pm 2,77$ 22–67	$58,92 \pm 2,67$ 32–85

Примечания. В числителе – среднее значение и его ошибка, в знаменателе – лимиты параметров.

Коэффициенты вариации параметров имеют высокие показатели, демонстрируют повышенный уровень изменчивости (рис. 1).

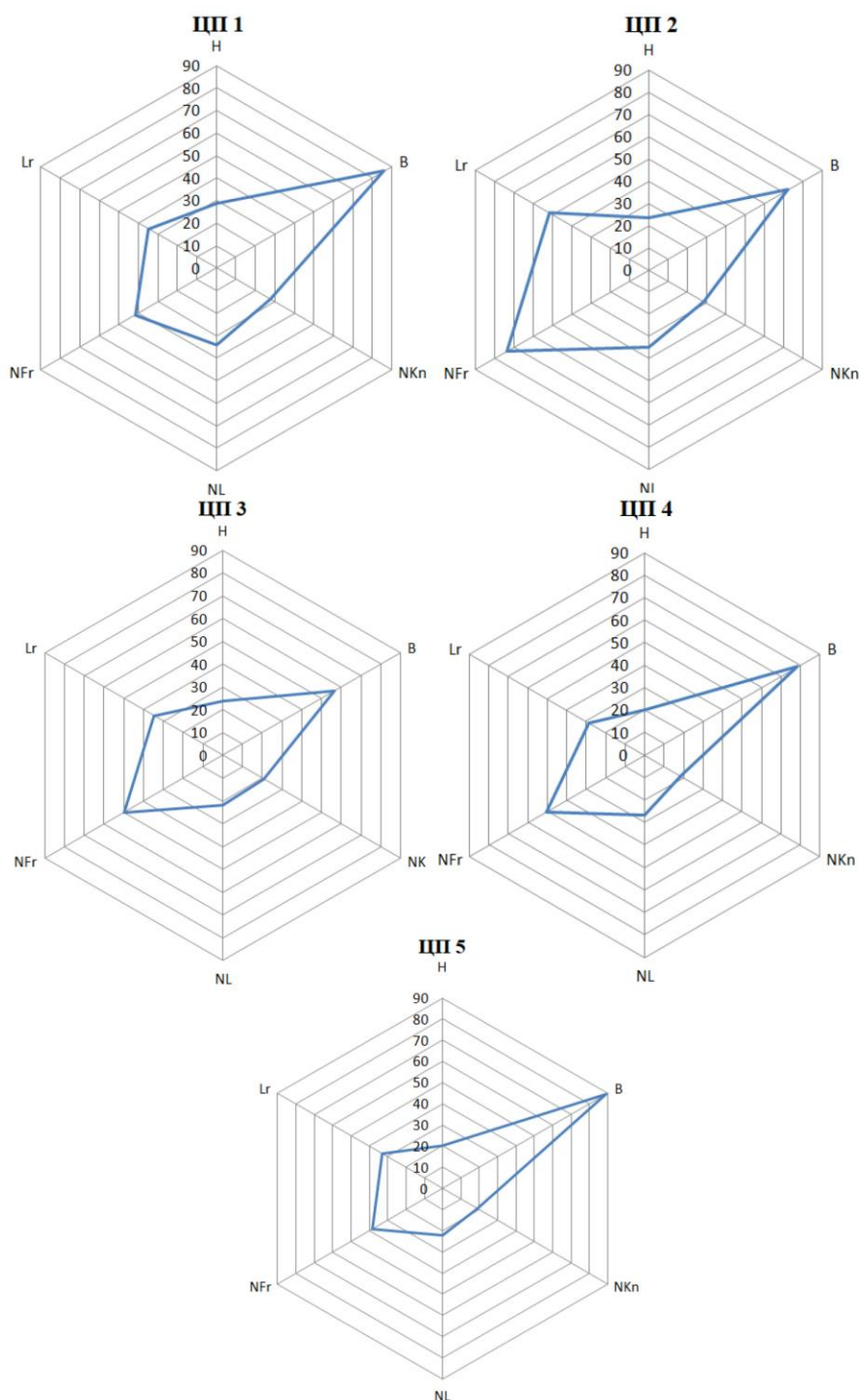


Рис. 1. Полигональные графики по значениям коэффициента вариации (CV, %) морфометрических признаков особей в исследованных ценопопуляциях:

Н – высота особей; В – ветвление; L_r – длина генеративной оси; N_{Kn} – количество узлов; N_{Fr} – количество плодов; N_L – количество листьев

Данная ценопопуляция отличается более длительным периодом натурализации (минимум 10 лет), что свидетельствует о большей приспособленности растений к сложившимся условиям существования, что, скорее всего, и повлияло на величину ростовых параметров растений. Кроме того, экологические условия на отвалах являются специфическими, характеризуются недостатком влаги, рыхлым субстратом, что характерно для естественных ареалов распространения видов рода *Oenothera*.

Для особей ЦП 2 характерно понижение значений большинства морфопараметров в сравнении с ЦП 1, исключение составляет высота (Н) особей. Следует отметить, что

коэффициент вариации генеративных признаков отличается увеличением показателей, в сравнении с ЦП 1 – длина генеративной оси (L_r) и количество плодов (N_{FRr}). Несмотря на сходные условия существования ЦП 1 и ЦП 2, отмечены отличия морфометрических показателей особей и коэффициента изменчивости. Это связано, вероятно, с гетерогенностью экотопов породного отвала, т.к. экологические условия на разных участках могут отличаться. Причиной отличия значений морфоструктуры может выступать различная продолжительность периода натурализации.

Особи *Oe. depressa* ЦП 3 характеризуются промежуточными значениями исследованных параметров, меньшим размахом амплитуды варьирования признаков. Коэффициент вариации параметров демонстрируют повышенные значения, однако величины коэффициентов ряда параметров несколько ниже в сравнении с ЦП 1 и ЦП 2. Предполагаем, что это связано с более благоприятными условиями произрастания.

ЦП 4 отличается уменьшением значений морфометрических параметров в сравнении с параметрами особей из других экотопов. Наименьшими показателями абсолютного значения параметров являются длина генеративной оси (L_r), высота (Н), количество узлов (N_{Kn}), количество листьев (N_L). Коэффициент изменчивости признаков также характеризуется понижением величин, за исключением количества плодов (N_{FRr}). Следует отметить, что данная ценопопуляция подвержена механическим влияниям (вытаптывание, кошение и т.п.), так как произрастает в непосредственной близости к железнодорожному переезду, где зафиксирован высокий уровень рекреационной нагрузки.

Показатели морфоструктуры особей *Oe. depressa* ЦП 5 имеют средние значения в сравнении с исследуемыми ценопопуляциями, для них характерна наименьшая изменчивость большинства исследуемых параметров.

По анализу значений коэффициента вариации установлено, что изменчивость внутри ценопопуляции для большинства изученных параметров выше ожидаемой нормы. Уровни изменчивости варьируют в следующих пределах: высота (Н) – от среднего (ЦП 4) до повышенного (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3, ЦП 5); ветвление (В) – очень высокий (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3, ЦП 4, ЦП 5); длина генеративной оси (L_r) – от повышенного (ЦП 4) до очень высокого (ЦП 2); количество узлов (N_{Kn}) – от среднего (ЦП 4) до повышенного (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3, ЦП 5); количество плодов (N_{FRr}) – от высокого (ЦП 5) до очень высокого (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3, ЦП 4); количество листьев (N_L) – от повышенного (ЦП 5) до высокого (ЦП 1, ЦП 2, ЦП 3, ЦП 4).

Выводы

Установлено, что ценопопуляции *Oe. depressa* в условиях трансформированных экотопов г. Макеевки характеризуются высоким уровнем изменчивости. Наиболее вариабельными являются следующие параметры: длина генеративной оси (L_r), количество плодов (N_{FRr}), ветвление (В). Наиболее повышенные ростовые показатели зафиксированы для особей *Oe. depressa* ЦП 1, сформированной на породном отвале и произрастающей там более 10 лет. Предполагаем, что такая зависимость связана с длительностью периода натурализации, а также со сложившимися условиями существования в трансформированных экотопах.

Дальнейшее изучение указанных параметров рассматривается как перспективное в рамках проводимого в Донбассе экологического мониторинга по оценке состояния природных систем в техногенно напряженном регионе.

Список литературы

1. Жукова Л. А., Полянская Т. А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 32, № 31. С. 160–171.

2. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы : Университетская книга, 2009. 239 с.
3. Калинина А. В. Особенности формирования эдафотопов некоторых отвалов угольных шахт г. Макеевки // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Матер. XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский гос. ун-т, 2020. С. 209–213.
4. Калинина А. В. Динамика фиторазнообразия сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 19–23.
5. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022 а. № 3. С. 135–144. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12>
6. Калинина А. В. *Oenothera salicifolia* Desf. Ex G. Don в условиях сорно-бытового экотопа г. Макеевки // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Матер. XX Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский гос. ун-т, 2022 б. С. 51–54.
7. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М. : Наука, 1972. 283 с.
8. Сафонов А. И. Критерии фитоиндикационного мониторинга в антропогенно трансформированной среде // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире : Матер. Всерос. науч. конф. Казань : Казанский нац. иссл. технол. ун-т, 2021. С. 1611–1615.
9. Сафонов А. И. Фитоиндикация промышленно-индустриальных ландшафтов Донбасса // Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения : Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань : Астраханский гос. ун-т, 2022 а. С. 154–156.
10. Сафонов А. И. Морфогенетические аномалии растений в диагностике природно-техногенных систем Донбасса // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Матер. XX Всерос. науч.-практич. конф. Киров : Вятский гос. ун-т, 2022 б. С. 54–58.
11. Тохтарь В. К., Грошенко С. А. Изучение распространения видов рода *Oenothera* L. в модельных индустриальных регионах Европы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Естеств. науки. 2012. Вып. 18, № 3 (122). С. 60–65.
12. Тохтарь В. К., Грошенко С. А. Особенности распространения и инвазионный потенциал видов рода *Oenothera* (subsect. *Oenothera*, Onagraceae) в восточной Европе // Вестник ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 31, № 23. С. 114–122.
13. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
14. Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web Conf. 2022. Vol. 43. 03002. 8 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224303002>

Kalinina A. V. Variability of morphometric parameters of *Oenothera depressa* Greene in cenopopulations of transformed ecotopes of Makeevka. – The results of determining the features of the variability of the morphometric parameters of *Oenothera depressa* Greene individuals in the transformed ecotopes of Makeevka are presented. Levels of intraspecific variability, ranges of variation of indicators are revealed. The most variable characters are the length of the generative axis (L_g), the number of fruits (NF_{R_i}), branching (B).

Key words: adventitious species, transformed ecotope, variability, coefficient of variation.

© Н. С. Мирненко

**ВИДЫ АДВЕНТИВНОЙ ФЛОРЫ ДОНБАССА В КОНТЕКСТЕ
ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: natalya_zaharenkova@mail.ru

Мирненко Н. С. Виды адвентивной флоры Донбасса в контексте палинологических экспертиз. –

Проведен анализ источников информации по адвентивной флоре Донбасса. Установлена тенденция увеличения адвентивных видов и недостаточное количество информации о биологической активности пыльцы адвентивных растений.

Ключевые слова: адвентивная флора, пыльцевые зерна, Донбасс.

Введение

Разработка методов контроля за адвентивными видами является одной из наиболее актуальных проблем для Донецкой Народной Республики, т.к. вследствие неконтролируемого заноса адвентивных растений происходит перестройка структурных соотношений в элементах аборигенной флоры [9, 33]. Вмешательство в аборигенную флору новых нехарактерных видов (растительные инвазии) имеет отношение к спектру экологических вопросов и является объектом обеспокоенности научной общественности.

Материалы исследования, типология и терминология

Аборигенная флора формируется из видов аллохтонного (встречаются в определенной местности, при этом изначально возникли за ее пределами) и автохтонного (флора, которая сложилась исторически) происхождения. Среди аллохтонных растений выделяют спонтанно распространяющиеся *идиохоры*, или распространяющиеся без содействия человека (например, из-за изменения климата), и *аллохтонные антропофиты*, которые расселяются вследствие прямых или опосредованных антропогенных воздействий [5, 26]. Последнюю группу в основном отождествляют с адвентивными (заносными) растениями.

Адвентивными видами считают растения, которые, попав в новую местность, за пределами своих ареалов (преимущественно с помощью искусственных факторов распространения), приспособились к новым условиям существования и стали самостоятельно занимать новые территории. При изучении адвентивной флоры *идиохоры* представляют наибольший интерес в изучении средств распространения чужеродных видов, в формировании их вторичных ареалов, взаимоотношений с местной флорой и т.д.

Карантинные адвентивные виды (по Д. Е. Матвееву) [4] – это виды случайные для данной группировки или отсутствующие в данном регионе, появление которых нежелательно (опасно в хозяйственном или медицинском плане). Адвентивные виды проникают и натурализуются в первую очередь в антропогенно-модифицированных – рудеральных и сегетальных (эпокофиты), а также в семинатуральных (гемиагриофитов) группировках, которыми являются, например, нарушенные степи [10, 15]. Внесение и экспансия адвентивных видов являются важнейшими процессами, сопровождающими антропогенную трансформацию флоры Северного Причерноморья. А. И. Толмачев указывал [1], что человек сам способствует распространению чужеродных растений, нарушая первичный растительный покров и создавая новые места произрастания для заселения «захожими видами». Особый научный интерес представляют виды, которые вмешиваются в более или менее естественные группировки (голоагриофиты). Именно они наиболее опасны для аборигенной флоры и типичной растительности. Следовательно, для заносных растений в антропогенной среде определяются следующие виды экотопов: геминатуральные, сегетальные, селитебные, водные. Например, в агроландшафте различают следующие категории распространения адвентивных растений [5]:

- эвритопные – распространены повсеместно, в экотопах почти всех типов;
- естественные – в геминатуральных экотопах;
- рудеральные – на нарушенных субстратах (оставленных землях, вдоль линий коммуникаций, ограждений, на нитрифицированных почвах);
- сегетальные – на регулярно возделываемых землях, в агрофитоценозах;
- синантропные – во всех синантропных экотопах, но, в отличие от предыдущей категории, не способны к проникновению в геминатуральные экотопы; основу синантропной растительности составляют рудеральные и сегетальные компоненты;
- селитебные – в пределах населенных пунктов, дачных участков, рекреационных центров, других рудеральных поселений;
- водные – в водоемах разного типа, связанных с агроландшафтом;
- отдельно признаны ценофобные виды, предпочитающие голые, без растительности экотопы, интенсивно распространяясь на нарушенных землях [7, 25].

Анализ результатов исследования

Наиболее типичны адвентивные виды, занимающие рудеральные экотопы. Первичными месторождениями рудералов являются поселения человека, их вторичные местопрорастания – это обочины путей, руины, свалки [24, 26, 30–33, 36], которые они начали активно занимать в XX в., во время бурного развития коммуникаций. При этом самые обычные рудеральные фитоценозы произрастают на нитрифицированных локалитетах вблизи жилья человека и хозяйственных построек.

Следствием антропогенеза является не только появление новых (заносных) видов растений, но частичное исчезновение видов, не выдерживающих мощного антропопрессинга. Поэтому возникают изменения, в частности, таксономического состава местной флоры, т.е. происходит ее синантропизация, которая становится главным следствием влияния человека на фитосферу [7, 36]. Синантропная флора всегда содержит большое количество адвентивных видов растений. На формирование и дальнейшее развитие адвентивной флоры любого региона также большое влияние оказывают антропогенные факторы, вызывающие существенные преобразования как природной флоры региона, так и ее адвентивной фракции. Это отражается в изменениях систематической структуры и появлении посторонних зональных группировок видов растений. Например, хозяйственная деятельность человека ведет к частичной ликвидации географических и экологических барьеров, что обеспечивает расширение ареалов адвентивных видов и возможность их натурализации в благоприятных условиях [7, 14].

Процесс миграции растений – один из универсальных механизмов эволюции вида. Поэтому адвентивная флора является одним из объектов, способных воспроизвести тенденции синантропизации флоры в условиях смешанных природно-антропогенных процессов развития фитобиоты.

На основе литературных свидетельств нами была разработана обобщающая блок-схема, иллюстрирующая процесс адвентизации флоры, его факторы и последствия (рис. 1) [8]. Адвентивная флора является одним из объектов, способных воспроизвести тенденции синантропизации в условиях смешанных природно-антропогенных процессов развития фитобиоты.

Первый и наиболее важный фактор в увеличении адвентивной флоры – это глобализация, которая приводит к распространению видов по международным торговым путям. Наиболее характерные способы занесения растений: миграция транспортом, занесение с балластом песка, занесение при помощи товарооборота, занесение с культурными видами (преимущественно со злаками). Развитие животноводства также приводит к переносу видов на разные типы местообитаний, часто вследствие бесконтрольного выпаса скота.

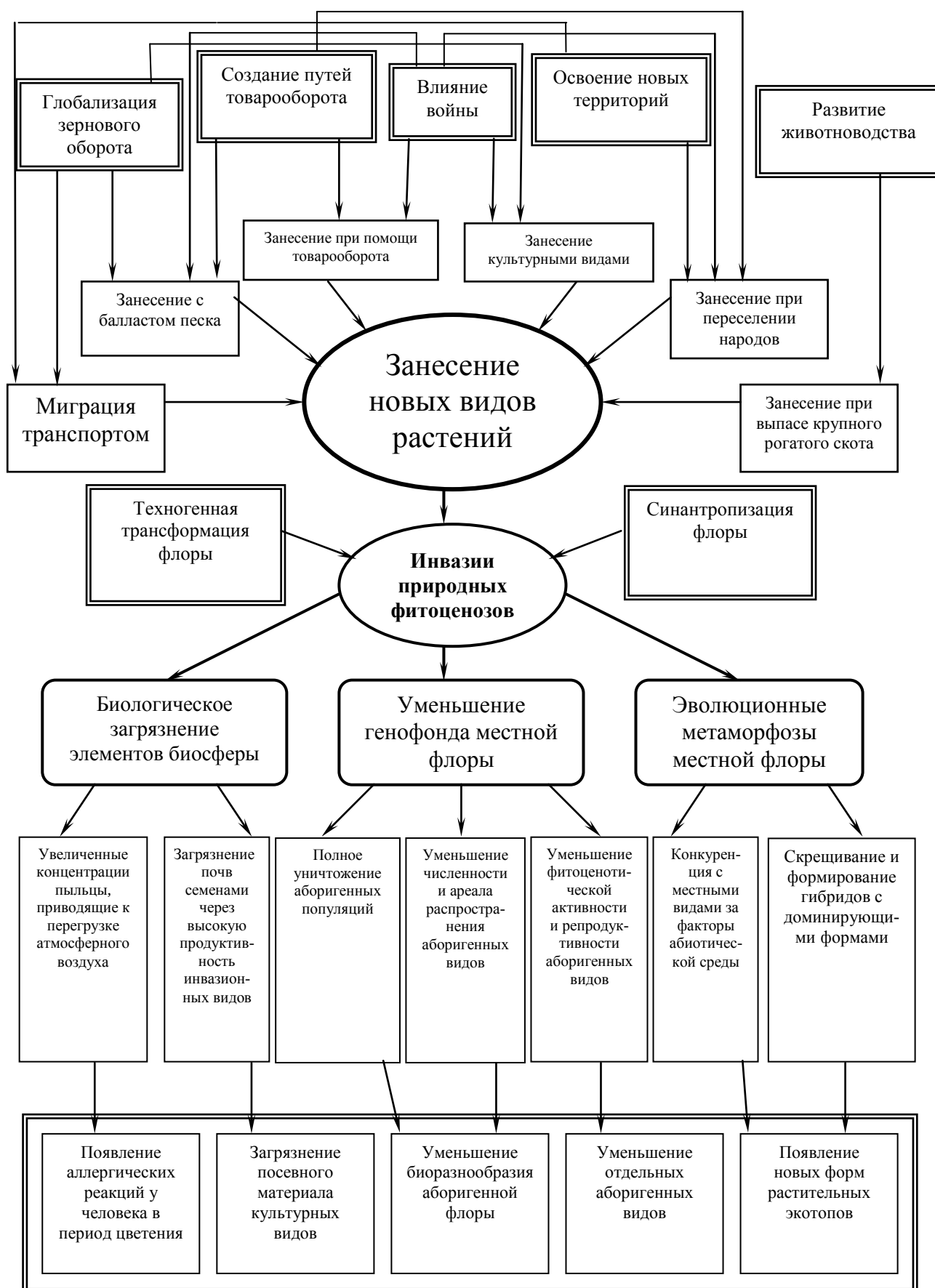


Рис. 1. Пути адвентизации флоры и ее экологические последствия

Высокое влияние на распространение растений имеют мировые войны, часто это происходит при переселении народов. Известно [12], что подорожник большой (*Plantago major* L.) в Южную Америку завезли европейцы во время колонизации в XVI–XVII веках, перенося плоды и семена на обуви и одежде, вследствие чего подорожник произрастал вблизи дорог.

Занесение новых видов растений и появление инвазий в фитоценозах приводит к увеличению концентрации пыльцы в атмосфере, нагружает почвы высокой семенной продуктивностью, что уменьшает численность и ареал распространения аборигенных видов, приводя в конечном итоге к полной перестройке фитоценозов.

Растительные инвазии природных фитоценозов формируют следующие последствия: биологическое загрязнение элементов биосферы, уменьшение генофонда местной флоры, эволюционные метаморфозы местной флоры.

Наиболее типичны адвентивные виды, занимающие рудеральные экотопы. Первичными месторождениями рудералов являются поселения человека, их вторичные местопроизрастания – обочины путей, руины, свалки [9, 12], которые они начали активно занимать в XX в., во время бурного развития коммуникаций.

На территории Донбасса количество адвентивных видов увеличивается в геометрической прогрессии. Так, в 1985 г. согласно конспекту «Конспекту флоры юго-востока Украины» для Донецкой и Луганской областей было определено 1817 видов, из которых установлен 101 адвентивный вид или 5,6 % от всей флоры региона [12]. В 2000 г. насчитывали уже до 200 адвентивных видов, при этом наиболее разнообразна по таксономическому составу была определена степная флора, включающая 114 видов (84 рода), принадлежащих к 33 семействам [11, 15]. Инвентаризация, проведенная в 2009 г. В. М. Остапко [25], показала наличие 2054 видов, из которых к адвентивной флоре относится 431 вид (более 20 %). Наиболее многочисленно семейство Asteraceae (37 % от общего числа видов), на втором месте Poaceae (19 % от общего числа видов), затем семейство Brassicaceae (18 % от общего числа видов), Solanaceae (10 % от общего числа видов) и Convolvulaceae (7 % от общего числа видов). Во флоре юго-востока Украины 22 семейства (16,5 % от общего числа) и 152 рода (21,5 %) представлены исключительно адвентивными видами.

По другим данным [5], адвентивные виды Донбасса относятся к 37 семействам. Наибольшее количество адвентивных видов содержит семейство Asteraceae – 47 %, Brassicaceae и Fabaceae – по 20 %, Amaranthaceae – 8 %, другие семейства – не более 5 % видов. Наиболее трансформированные роды по количеству видов: *Chenopodium*, *Amaranthus*, *Oenothera*, *Artemisia*, *Papaver*, *Xanthium*, *Euphorbia*, *Solanum*, *Vicia*, *Atriplex*, *Hordeum*, *Lepidium*, *Veronica* [4]. Наиболее современные исследования на период 2020 г. уже дополнены новыми 20 чужеродными видами. Следовательно, адвентизация флоры становится необратимым процессом и увеличивается с каждым годом.

Пользуясь традиционной классификацией адвентивного элемента флоры (А. Теллунг, цит. по [4, 5]), следует отметить, что по способу заноса на Северное Причерноморье чужеродных видов различают следующие группы: аколитофиты, эргазиофиты, ксенофиты. Наиболее распространены аколитофиты или случайно занесенные виды. Менее распространены растения, сначала интродуцированные, а затем одичавшие (эргазиофиты) или случайно занесенные на данную территорию во время хозяйственной деятельности человека (ксенофиты). По времени занесения растений на территорию Северного Причерноморья можно выделить три группы [4, 5, 7]: археофиты, неофиты и эунеофиты. Наиболее многочисленной и разнообразной группой являются эунеофиты, попавшие в нашу флору уже в XX в. – 44 вида; к археофитам относятся 33 вида, которые были занесены в XVIII в.

По степени натурализации адвентивные растения разделены на следующие группы: *эфмерофит-эпекофит* – в результате одного (или периодического) заноса вид появляется во вторичных местообитаниях; *эфмерофит-агриофит* – вид, имеющий постоянный путь заноса, но не адаптированный к новым местам произрастания; *колонофит-эпекофит* – вид

не расселяющийся, но закрепленный во вторичных типах местообитания; *колонофит-агриофит* – вид, произрастающий в естественных местообитаниях, но не расселяющийся за их пределами; *энекофит* – вид, адаптированный во вторичных типах местообитания при этом расселяющийся далее; *агриофит* – вид, адаптированный в состав естественных фитоценозов, продолжающий расселяться далее [12].

Также адвентизации флоры подвержены природные участки Донбасса. Так, в РЛП «Донецкий кряж» зарегистрировано 789 видов сосудистых растений, из которых 121 вид является адвентивным или 15,3 % от общего количества видов [9, 20]. Помимо степных видов, древесно-кустарниковые также активно вселяются на природные территории. Так, в РЛП «Донецкий кряж» встречаются: *Sambucus racemosa* L., *Lycium barbatum* L., *Parthenocissus inserta* (A. Kern.) Fritsch., *Acer pseudoplatanoides* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Juglans regia* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Cerasus tomentosa* (Thunb.) Wall., *Ulmus pumila* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Caragana arborescens* Lam., *Cerasus vulgaris* Mill., *Gleditchia triacanthos* L.

Следует отметить, что трансформации наиболее активно подвержены степные участки флоры, так в «Хомутовской степи» насчитывается 730 видов, из которых к числу адвентивных относят 121 вид (16,6 % от всей флоры заповедника), что является достаточно большим показателем для данного участка [25]. При этом адвенты имеют неравномерное распределение, подавляющее большинство произрастает в усадьбе и заходит в степь по грунтовым дорогам и тропам, образующимся вследствие выпаса крупного рогатого скота, на участках со слабой пастбищной нагрузкой адвентивные виды практически отсутствуют. Также стоит упомянуть про возможность диффузного расселения видов, наблюдаемого в заповеднике «Аскания-Нова» с 1996 по 2005 гг., где количество особей (видов?) увеличилось в 2 раза с 813 до 1605.

Для Донецких степей наиболее опасными являются два вида адвента – полынь и амброзия. Амброзия доминирует в городских средах, а полынь – в степных.

Ambrosia artemisiifolia L. имеет широкую экологическую амплитуду, вследствие чего занимает разнообразные экотопы, преимущественно в антропогенно-трансформированной среде, вдоль путей сообщения, на свалках и строительных площадках, в рекреационных зонах, парках, на территориях заводов, предприятий и др. Такое расселение амброзии возможно из-за отсутствия конкуренции с аборигенными видами, исчезнувших под влиянием антропогенных факторов [1, 16–18, 21, 28, 29, 31, 36], в частности прямого разрушения жизненного пространства (застройка территорий при расширении, в связи с интенсивным развитием сельского хозяйства, вырубка лесов, изменение структуры почв – снижение плодородия, накопление нитратов и т.п.).

Одна хорошо развитая особь *A. artemisiifolia* формирует до 100 тыс. плодов, что обусловлено выходом миллиардов клеток пыльцы, особенно в густых зарослях, где образуются преимущественно тычиночные цветки, при этом заросли формируются из расчета до 1000 особей на 1 м².

Artemisia absinthium L. – рудеральный сорняк, синантропный вид европейской части юга России. Вид хорошо адаптирован в городской агломерации (около жилья, по обочинам дорог, огороды, сады, окраины полей, пустыри, свалки, канавы, молодые залежи (1–3 года), нарушенные леса, вырубки, берега водоемов, среди кустарников), однако в Донбассе имеет высокую конкуренцию на природных участках, за счет формирования монодоминантных зарослей на большой площади [16, 26–29]. Так, на черноземах за вегетационный период полынь способна давать до 6–7 т/га зеленой массы. Следовательно, большое количество пыльцы, быстрое нарастание надземной массы и корневой системы, высокая семенная производительность – типичные признаки г-стратегического существования видов *A. artemisiifolia* и *A. absinthium*.

Стоит упомянуть, что ранее проведенные исследования на пробных площадках г. Донецка показали невысокую степень фертильности пыльцы *A. artemisiifolia* и *A. absinthium*, которая составила от 62,0 до 69,4 %, соответственно, указывающая на

уменьшенную степень адаптации в городской среде [16–19]. Для понимания полноты картины необходимо получить ряд комплексных показателей. Важная роль в исследовании пыльцевых спектров принадлежит полевым аэропалинологическим показателям, анализ которых помогает приблизить понимание механизмов адаптации местных природно-климатических условий.

Для дальнейших исследований были определены основные методики изучения пыльцевых спектров адвентивных растений Донбасса. Так, наиболее важным является степень репродукции растений. Параметр репродуктивное усилие – доля материально-энергетических ресурсов организма, направляемых на процесс репродукции. В целом, репродуктивное усилие является видовым признаком, генетически наиболее устойчивым по сравнению с другими показателями репродукции [7, 12]. Репродуктивное усилие непосредственно отражает жизненное состояние растения и является важным, хотя не единственным компонентом репродуктивного успеха у растений. Этот показатель является индикатором готовности особи к осуществлению воспроизведения, и ее возможности вклада материально-энергетических ресурсов в репродуктивные органы. На значение репродуктивного усилия оказывает влияние генетический полиморфизм вида, поэтому разные популяции могут отличаться между собой по этому показателю.

Фитомассу репродуктивных структур предопределяет масса собственно плодов, а также сопутствующих структур (околоцветника, цветоносов, рахисов соцветия, оберток плода и т.п.) [12]. Для сравнения полученных данных учтена динамика вегетативной фитомассы *A. artemisiifolia*. Максимум приходится на конец цветения, начало образования плодов. Поэтому определение репродуктивного усилия на каждом отдельном участке необходимо проводить в данный период.

Для установления основных показателей репродукции, а также жизнеспособности семян необходимо использовать три показателя семенной продуктивности: потенциальная, условно реальная и реальная семенная продуктивность [13, 28, 35]. *Потенциальная семенная производительность* (ПНП) – это максимально возможное количество семян, которое может образовать одно растение за вегетационный период при условии, что все образовавшиеся семенные зачатки (семенные почки) одного растения сформируют зрелые семена. *Условно-реальная семенная продуктивность* (УРНП) – показатель, включающий все семена, независимо от его качества – в том числе недозрелые, недоразвитые, поврежденные насекомыми и грибами.

Если ПНП является лишь теоретически верхним пределом семенной продуктивности, которого растения почти никогда не достигают, то УРНП характеризует степень реализации потенциальной возможности вида к образованию семян. Сопоставление значения этого показателя по ПНП иллюстрирует, какая часть семенных зачатков развивается у семян.

Реальная (фактическая) семенная производительность (РНП) – это количество полноценных семян, образованных растением в расчете на одну особь. Полноценность семян включает их жизнеспособность, определяемую как лабораторную всхожесть. Конкретно показатель РНП описывает фурор размножения растения.

Для общей оценки семенной репродукции растений необходимо использовать интегральный показатель генеративной активности (R), для определения основного направления стратегии существования в каждой отдельной субпопуляции *A. artemisiifolia* в репродуктивном аспекте.

Важная роль в определении пыльцевых спектров принадлежит полевым аэропалинологическим данным, получить которые можно, сформировав не менее 20 пунктов аэропалинологического мониторинга в соответствии с территориями и с разным таксономическим составом растительных группировок при наличии неравномерной степени антропогенной нагрузки на фитоценозы. Сбор пыльцевого материала с помощью ловушек, основанного на гравиметрическом методе работы, который базируется на принципе оседания пыльцы под влиянием силы тяжести, позволяет исследовать в основном динамику колебания концентрации пыльцы в воздухе в разные периоды в пределах каждого пункта

аэропалинологического мониторинга [28, 29]. Затем проводят (общепринятыми и наиболее подходящими методами) определение стерильности и жизнеспособности пыльцы для понимания степени адаптации и общей семенной продуктивности.

Заключение

Таким образом, изучение адвентивных видов, как фракции аллохтонного элемента флоры определенного региона, является научно интересным и перспективным направлением экологической ботаники, потому что их распространение в новых, исторически нетипичных местах произрастания приводит к прямому или косвенному влиянию на состав, структуру и функционирование экосистем.

Адвентивная флора (успешные регистрируемые виды) имеет высокую степень адаптации в Донбассе, при этом сформировано недостаточное количество информации о биологической активности пыльцы адвентивных растений, которая поддается влиянию различных факторов, что в свою очередь характеризует пыльцу, как очень чувствительный компонент системы индикаторного мониторинга.

Список литературы

1. *Акопов И. Э.* Аллергия на пыльцу амброзии и лекарственная болезнь. Краснодар : Краснодарское книжное изд-во, 1978. 48 с.
2. *Баранова О. Г., Щербаков А. В., Сенатор С. А., Панасенко Н. Н., Сагалаев В. А., Саксонов С. В.* Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. Т. 12, № 4. С. 4–22.
3. *Березуцкий М. А.* Антропогенная трансформация флоры юга Приволжской возвышенности // Аллея науки. 2018. Т. 1, № 4 (20). С. 266–282.
4. *Бурда Р. И.* Антропогенная трансформация флоры. К. : Наук. думка, 1991. 169 с.
5. *Бурда Р. И.* Оценка экологической опасности заносных растений в агроландшафтах Украины // Промышленная ботаника. Донецк, 2001. Вып. 1. С. 16–21.
6. *Варлыгина Т. И.* Адвентивные редкие виды растений // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. (Москва, 10–11 февраля 2022 г.). М. : Изд-во МГУ, 2022. С. 22–29.
7. *Владимиров Д. Р., Вэйго Ту.* Некоторые теоретические вопросы адвентивной флоры и ее инвазионного субэлемента // Вестник ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2016. № 3. С. 73–78.
8. *Галкина М. А., Зеленкова В. Н., Курской А. Ю., Тохтарь В. К., Pergl Ja., Виноградова Ю. К.* Флора уссурийского участка Транссибирской железнодорожной магистрали и ее сопряженность с характеристиками естественных биомов // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. Биол. и экол. 2021. № 3 (63). С. 70–91
9. *Ибатулина Ю. В., Остапко В. М.* Синтаксономическое разнообразие слабо нарушенной природной растительности окрестностей Донецка и Макеевки // Промышленная ботаника. 2021. Т. 21, № 3. С. 45–65.
10. *Казакова М. В., Белошенкова А. Д., Бучкова А. Э.* Адвентивный компонент флоры Рязанской области // Изучение адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: итоги, проблемы, перспективы : матер. V Междунар. науч. конф. (6–8 сентября 2017 г.). Ижевск : Изд-во Института компьютерных исследований, 2017. С. 60–63.
11. *Карасева В. С., Селезнева Ю. М., Бирюкова И. И.* Особенности пыления амброзии в г. Рязани (2015–2021) // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. (Москва, 10–11 февраля 2022 г.). М. : Изд-во МГУ, 2022. С. 471–479.
12. Конспект флоры юго-востока Украины: сосудистые растения / Е. Н. Кондратюк, Р. И. Бурда, В. М. Остапко. К. : Наук. думка, 1985. 272 с.
13. *Кузнецова Т. Н., Лапишин Д. А., Селехов В. В.* Методы оценки жизнеспособности пыльцы облепихи // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и

пути их решения. Нижний Новгород : Изд-во Нижегородской гос. сельскохозяйств. акад., 2005. С. 114–117.

14. Лиджиева Н. Ц., Ноняева А. Б., Кузьменко О. А. Влияние антропогенной трансформации почвенного покрова на семенную продуктивность *Tulipa gesneriana* L. (*Liliaceae*) // Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 6 (66). С. 210–216.

15. Матвеев Д. Е. Натурализация адвентивных растений на местности Волгоградской области // Тез. докл. VII молодеж. конф. ботаников в Санкт-Петербурге (Санкт-Петербург, 15–19 мая 2000 г.). СПб. : Буслай, 2000. С. 28.

16. Мирненко Н. С. Состояние пылевых зерен *Ambrosia artemisiifolia* L. и *Artemisia absinthium* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017а. № 3–4. С. 12–16.

17. Мирненко Н. С. Тератоморфы пылевых зерен *Ambrosia artemisiifolia* L. селитебных территорий г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017б. № 1–2. С. 26–31.

18. Мирненко Н. С. Палиноструктурный анализ *Ambrosia artemisiifolia* L. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : матер. XIII Междунар. науч. конф. асп. и студ. (Донецк, 16–17 апреля 2019 г.). Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. С. 108–110.

19. Мирненко Н. С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 55–61.

20. Мирненко Н. С., Сафонов А. И. Спорово-пыльцевой метод в Донбассе на основе научных рекомендаций ученых России // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : матер. Междунар. науч. конф. студ. и молод. уч. (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. Т. 2. С. 97–99.

21. Накаева А. А., Оказова З. П. О биологических особенностях амброзии полыннолистной // Современные проблемы естествознания : матер. IV регион. науч.-практ. конф. студ. и молод. уч. (Махачкала, 30 апреля 2020 г.). Махачкала : АЛЕФ, 2020. С. 137–141.

22. Нестерова С. В., Марчук Е. А. *Talinum paniculatum* (Talinaceae) – новый вид адвентивной флоры для Российской Федерации // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2022. № 28. С. 35–40.

23. Носова М. Б., Северова Е. Э., Волкова О. В. Современные спорово-пыльцевые спектры Европейской России: 10 лет наблюдений // Ботан. журн. 2019. Т. 104, № 8. С. 1228–1248.

24. Нотов А. А., Нотов В. А. Основные направления изучения генезиса адвентивного компонента флор // Вестник ТвГУ. Сер. «Биология и экология». 2009. Вып. 14. С. 127–140

25. Остапко В. М., Приходько С. А., Кривицун А. А. Адвентивная фракция флоры заповедника «Хомутовская степь» // Промышленная ботаника. 2021. Т. 21, № 3. С. 130–139.

26. Полевова С. В., Кузнецов К. О. Пыльца чужеродных видов древесных растений в аэропалинологическом спектре Москвы // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. (Москва, 10–11 февраля 2022 г.). М. : Изд-во МГУ, 2022. С. 355–363.

27. Протопопова В. В., Мосякин С. Я., Шевера М. В. Фитоинвазия как угроза биоразнообразию: современное состояние и задачи на будущее. К. : Наук. думка, 2002. 32 с.

28. Сафонов А. И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 32–38.

29. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 43–48.

30. Сербина И. И. Адвентивная флора в плавневой зоне Приазовья // Инновационная деятельность в сфере естественнонаучного образования : сб. трудов VIII регион. науч.-практ.

конф. (Славянск-на-Кубани, 24 ноября 2018 г.). Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2019. С. 74–79.

31. Таращенко П. В., Шептиев С. А. Амброзия полыннолистная как инвазионный вид Ростовской области // Наука и молодёжь : сб. науч. тр. Новочеркасск : Изд-во Новочеркасского инж.-мелиорат. ин-та им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской гос. агр. ун-т», 2022. Т. 3., вып. 3. С. 59–62.

32. Шмараева А. Н., Козловский Б. Л., Шишлова Ж. Н., Кузьменко И. П., Федоринова О. И., Куропятников М. В. Адвентивная флора ботанического сада Южного федерального университета // Тр. Ботан. сада ЮФУ. Ростов-на-Дону – Таганрог, 2019. С. 34–79.

33. Шмараева А. Н., Шишлова Ж. Н., Кузьменко И. П. Адвентивная травянистая флора ботанического сада Южного Федерального Университета // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. № 18. С. 644–649.

34. Geitmann A. Pollen and pollen tube biology: methods and protocols. New York : Humana Press, 2020. 332 p.

35. Obermeyer G., Feijo J. Pollen tip growth from biophysical aspects to systems biology. Praha : Springer International Publishing AG, 2017. 292 p.

36. Rebele F. Species composition and diversity of stands dominated by *Calamagrostis epigejos* on wastelands and abandoned sewage farmland in Berlin // Tuexenia. 2014. 34. P. 247–270. <http://dx.doi.org/10.14471/2013.34.001>

Mirnenko N. S. Types of adventitious flora of Donbass in the context of palynological examinations. – The analysis of information sources on the adventitious flora of Donbass was carried out. The tendency of increasing adventitious species and insufficient information on the biological activity of pollen of adventitious plants has been established.

Key words: adventitious flora, pollen grains, Donbass.

УДК 638. 132 (477.62)

© А. В. Амолин

МАТЕРИАЛЫ К ИЗУЧЕНИЮ МЕДОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ ДОНБАССА.
СООБЩЕНИЕ I. ВЕСЕННИЕ И ВЕСЕННЕ-РАННЕЛЕТНИЕ МЕДОНОСЫ*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: a.amolin@mail.ru*

Амолин А. В. Материалы к изучению медоносных растений Донбасса. Сообщение I. Весенние и весенне-раннелетние медоносы. – В статье приведены сведения о 90 видах весенних и весенне-раннелетних медоносных растениях Донбасса. На указанных медоносных растениях было отмечено не менее 38 видов пчел из 15 родов и 5 семейств, в разной степени посещающих и опыляющих данные виды растений. Среди весенних медоносов важное практическое значение имеют культивируемые человеком и одичалые виды плодовых деревьев (не менее 8 видов) и ягодных кустарников (не менее 3 видов). В опылении плодовых деревьев и ягодных кустарников принимают участие не менее 17 видов пчел.

Ключевые слова: медоносные растения, пчелы-опылители, Донбасс.

Введение

Каталогизация цветковых растений опыляемых пчелами (мелиттофильных) имеет важное прикладное значение для развития пчеловодства Донбасса. Прежде всего, для оценки и учета медоносных ресурсов, типизации медоносных угодий данной территории, а также разработки путей улучшения кормовой базы медоносной пчелы и диких пчел – важнейших опылителей сельскохозяйственных мелиттофильных культур.

Донбасс расположен на юге Русской равнины в степной природной зоне и относится к территории с развитой промышленностью и земледелием. В этой связи основными медоносными угодьями данной территории являются поля энтомофильных сельскохозяйственных культур (подсолнечник, посевная люцерна, кормовые бобовые травы, некоторые овощные и бахчевые культуры), медоносные растения, возделываемые на приусадебных участках в городах и поселках, сохранившиеся лугово-степные участки в поймах рек и степных балках, а также небольшие площади лесов, представленных в долине реки Северский Донец (пойменные леса) и на Донецком кряже (байрачные леса). Географическое положение Донбасса в большой мере определяет богатство медоносных ресурсов этой территории. Например, многие известные медоносы здесь или вовсе не растут из-за не подходящих климатических условий или нуждаются в дополнительном поливе при их культивировании. В этой связи изучение медоносных ресурсов Донбасса должно быть направлено на подбор «оптимальных» для данной территории медоносов с целью их дальнейшего культивирования и, как следствие, улучшения кормовой базы пчеловодства.

Работа по созданию каталога медоносных растений Донбасса является первым и очень важным этапом в познании медоносных ресурсов Донбасса и их дальнейшем улучшении. В данный каталог, с формальной точки зрения, могут быть включены все известные цветковые энтомофильные растения, произрастающие на данной территории, включая возделываемые сельскохозяйственные культуры, а также широко расселившиеся интродуцентные виды. Но, по нашему мнению, в каталог должны быть включены те виды мелиттофильных растений, которые обладают целым рядом специфических характеристик. В частности, они должны быть, прежде всего, аспектированными или массово цветущими на исследуемой территории, а также хорошо посещаемыми пчелами (мелиттофильными). Еще одним ограничивающим критерием является степень изученности того или иного вида растения. С практической точки зрения в каталог, в первую очередь, важно включать виды растений, с точно установленными, для данной территории, высокими значениями медопродуктивности или нектаропродуктивности. Важными параметрами являются также сроки цветения, обилие и

распространение в фитоценозах Донбасса, агротехника культивирования (для некоторых наиболее перспективных медоносов).

Сведения о составе медоносных растений Донбасса имеются в некоторых работах донецких ботаников [5, 6]. В частности, в «Конспекте флоры юго-востока Украины» приведены названия 96 видов медоносных растений флоры Донбасса [6].

В ходе многолетних исследований фауны и экологии жалоносных перепончатокрылых насекомых, автором были получены некоторые сведения о перспективных медоносных видах растений Донбасса, большинство из которых являются известными медоносами и могут быть культивированы на этой территории. В данном сообщении приведен список видов весенних и весенне-летних медоносных растений с указанием их основных опылителей и некоторыми другими экологическими сведениями.

Материал и методы исследования

Материалом для данной работы послужили исследования, проведенные автором в период с 1997 по 2022 гг. на территории 89 географических пунктов Донбасса (в пределах Донецкой и Луганской областей). Сбор пчел проводили энтомологическим сачком методом кошения и индивидуального лова на цветущих растениях. Обследовали как природные (степные и лугово-степные участки, опушки байрачных и пойменных лесов), так и селитебные городские и сельские ландшафты (приусадебные участки, городские лесопарки, рекреационные лесные массивы), а также плантации энтомофильных сельскохозяйственных культур (подсолнечник, кормовые бобовые травы).

При учетах численности пчел-опылителей применяли методики В. В. Попова и Ю. А. Песенко [8, 9], при этом учеты шмелей и медоносной пчелы проводили без отлова. Всего за весь период исследований на энтомофильных культурах Донбасса было собрано и учтено не менее 3400 экз. пчел.

Для установления видовой принадлежности растений использовали «Определитель высших растений Украины» [7]. Правильность определения некоторых видов растений была подтверждена канд. биол. наук Д. Я. Зацепиной и докт. биол. наук В. М. Остапко.

Названия видов пчел приведены в соответствие с «Аннотированным каталогом перепончатокрылых насекомых России» [10].

В статье использованы некоторые термины, употребляемые только в литературе по пчеловодству. В частности, под термином *«поддерживающий медосбор»* понимается сбор нектара и пыльцы медоносной пчелой для удовлетворения только текущих потребностей пчелиной семьи в корме. Под термином *«продуктивный медосбор»* понимается собранные медоносной пчелой запасы меда, используемые также для отбора товарного меда.

Результаты и обсуждение

В результате исследований установлено, что к числу важнейших медоносных растений, цветение которых проходит весной, а также в конце весны – начале лета на изучаемой территории относится не менее 90 видов цветковых растений. При этом с экологической точки зрения эти растения включают хорошо выраженный комплекс ранневесенних травянистых растений, дающих хорошо выраженные аспекты весенних и весенне-летних травянистых и древесно-кустарниковых растений, а также комплекс древесно-кустарниковых анемофильных видов растений. Последний комплекс приведен отдельно в табл. 3. Также отдельно выделен комплекс древесно-кустарниковых плодовых и ягодных весенне- и раннелетнецветущих культур, многие из которых специально возделываются человеком в Донбассе.

Комплекс весенних травянистых и древесно-кустарниковых медоносных растений

Данный комплекс состоит из раннецветущих энтомофильных травянистых и древесно-кустарниковых растений, посещаемых пчелами, в том числе медоносной пчелой, большей частью для собственного питания нектаром (поддерживающий медосбор). В этот комплекс

нами включены только наиболее обычные, большей частью аспектированные и широко распространенные по всей изучаемой территории виды растений (табл. 1).

Таблица 1

**Комплекс весенних травянистых и древесно-кустарниковых медоносных растений
Донбасса**

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
<i>Cornus mas</i> L. (Cornaceae)	III–IV	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus 1758, <i>Andrena</i> sp., <i>Colletes cunicularius</i> (Linnaeus, 1761), <i>O. cornuta</i> (Latreille, 1805).	Ранний медонос (нектар, пыльца, пчелиный клей). По личным наблюдениям, в начале апреля в ДБС отмечали активное посещение цветков кизила медоносной пчелой.
<i>Ficaria verna</i> Huds. s.l. (Ranunculaceae)	III–IV (обычно с конца марта до конца апреля)	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena flavipes</i> Panzer, 1799, <i>A. dorsata</i> (Kirby, 1802), <i>A. haemorrhoa</i> (Fabricius, 1781), <i>Andrena</i> sp., <i>Lasioglossum</i> sp., <i>Bombus pascuorum</i> (Scopoli, 1763), <i>Osmia bicornis</i> Linnaeus, 1758, <i>O. cornuta</i> , <i>Nomada goodeniana</i> (Kirby, 1802).	Опылителями этого вида растений являются в основном пчелы андренины и галиктиды (подрод <i>Evylaeus</i>), самки которых активно собирают пыльцу. Также сбор пыльцы отмечали медоносной пчелой. Кроме пчел, цветки посещают жуки <i>Epicometis hirta</i> (Poda) и <i>Amphycoma vulpes</i> (F.), которые также опыляют этот вид растения.
<i>Tussilago farfara</i> L. (Asteraceae)	III–IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena minutula</i> (Kirby, 1802), <i>Lasioglossum calceatum</i> (Scopoli, 1763), <i>Andrena helvola</i> (Linnaeus, 1758), <i>A. dorsata</i> , <i>A. flavipes</i> , <i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758), <i>Sphcodes</i> sp., <i>Nomada</i> sp.	Вид локально встречается в поймах рек (иногда образует большие и протяженные скопления, по берегам прудов с глинистой и суглинистой почвой). Среди опылителей и посетителей доминируют пчелы андрениды и галиктиды. Для медоносной пчелы является важным ранневесенним поддерживающим медоносом.
Виды рода <i>Salix</i> L. (<i>S. acutifolia</i> Willd., <i>S. alba</i> L., <i>S. caprea</i> L., <i>S. fragilis</i> L., <i>S. pentandra</i> L., <i>S. triandra</i> L.) (Salicaceae)	IV	<i>Andrena. haemorrhoa</i> , <i>A. dorsata</i> , <i>A. flavipes</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Halictus</i> sp., <i>Colletes cunicularius</i> , <i>Osmia bicornis</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. lapidarius</i> (Linnaeus, 1758).	Ивы являются важнейшими весенними медоносами, дающими нектар и пыльцу, особенно <i>Salix caprea</i> L. и <i>S. alba</i> L.
Виды рода <i>Gagea</i> Salisb. (<i>G. erubescens</i> (Besser) Besser,	IV	<i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>A. dorsata</i> , <i>A. limata</i> Smith, 1853, <i>A. flavipes</i> , <i>A. helvola</i> (Linnaeus,	Ранневесенние степные (<i>Gagea erubescens</i> , <i>G. podolica</i> , <i>G. pusilla</i>) и лесные (<i>G. lutea</i> , <i>G. minima</i>)

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
<i>G. podolica</i> Schult. & Schult. f., <i>G. pusilla</i> (F. W. Schmidt) Sweet, <i>G. lutea</i> (L.) Ker Gawl., <i>G. minima</i> (L.) Ker Gawl.) (Liliaceae)		1758), <i>A. minutula</i> (Kirby, 1802), <i>Andrena</i> sp., <i>Apis mellifera</i> , <i>Colletes cunicularius</i> , <i>Osmia bicornis</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. lapidarius</i> .	поддерживающие медоносы. Гусиные луки дают ярко выраженный аспект в первой половине апреля, при этом посещаются большей частью короткохоботными пчелами андренидами.
<i>Scilla sibirica</i> Haw. (Hyacinthaceae)	III–IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Ранневесенний поддерживающий медонос.
<i>Muscari neglectum</i> Guss. (Hyacinthaceae)	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Ранневесенний поддерживающий медонос.
<i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv. (Fumariaceae)	IV (первая половина апреля)	<i>Bombus terrestris</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>B. lapidarius</i> (Linnaeus, 1758), <i>B. pascuorum</i> , <i>B. hypnorum</i> (Linnaeus, 1758), <i>Osmia bicornis</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>Colletes cunicularius</i> , <i>Nomada zonata</i> Panzer, 1798.	Ранний медонос, дающий нектар и пыльцу. Несмотря на высокую частоту посещения шмелем земляным (<i>Bombus terrestris</i>), в опылении хохлатки плотной этот вид не участвует, так как прогрызает шпорец и «ворует» нектар. Другие из указанных видов шмелей берут нектар, просовывая голову в зев венчика цветка.
Виды рода <i>Viola</i> L. (<i>V. ambigua</i> Waldst. & Kit., <i>V. odorata</i> L., <i>V. suavis</i> M. Bieb.) (Violaceae)	IV	<i>Osmia bicornis</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena</i> sp., <i>Halictus</i> sp., <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. pascuorum</i> , <i>Anthophora plumipes</i> (Pallas, 1772).	Фиалки ранневесенние – поддерживающие медоносы, особенно часто посещаемые пчелами-осмиями. Шмель земляной прогрызает шпорец и «ворует» нектар.
<i>Amygdalus nana</i> L. (Rosaceae)	IV	<i>Apis mellifera</i>	Поддерживающий медонос, распространенный в степных фитоценозах.
<i>Padellus mahaleb</i> (L.) Borkh. (Rosaceae)	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena</i> sp., <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Halictus</i> sp.	Широко распространенный на исследуемой территории вид, дающий нектар и пыльцу.
<i>Prunus stepposa</i> Kotov (Rosaceae)	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Colletes cunicularius</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Andrena carantonica</i> Pérez, 1902, <i>Anthophora plumipes</i> .	Широко распространенный и обильно цветущий вид.
<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill. (Ranunculaceae)	IV–V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus terrestris</i> .	Как и другие виды этого рода, прострел раскрытый является весенним поддерживающим медоносом.
Виды рода <i>Acer</i> L.	IV–V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena</i>	Клены – ценные

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
(<i>A. platanoides</i> L., <i>A. campestre</i> L., <i>A. tataricum</i> L.) (Aceraceae)		sp., <i>Halictus</i> sp., <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Bombus terrestris</i> .	ранневесенние поддерживающие медоносы, обильно дающие нектар многим видам насекомых.
Весеннецветущие виды рода <i>Taraxacum</i> Weber. (<i>T. bessarabicum</i> (Hornem.) Hand.-Mazz., <i>T. erythrospermum</i> Andrz., <i>T. officinale</i> Wigg.) (Asteraceae)	IV–V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena flavipes</i> , <i>Andrena</i> sp., <i>Halictus</i> sp., <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Одуванчики – хорошие медоносы, активно посещаемые многими видами пчел для взятия нектара и пыльцы.
<i>Chelidonium majus</i> L. (Papaveraceae)	IV–IX	<i>O. cornuta</i> , <i>O. bicornis</i> , <i>Anthophora plumipes</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus hypnorum</i> .	Имея растянутый период цветения, чистотел служит поддерживающим пыльценосом для многих видов пчел (включая медоносную пчелу).
Виды рода <i>Lamium</i> L. (<i>L. purpureum</i> L., <i>L. maculatum</i> (L.) L.) (Lamiaceae)	IV–V	<i>Bombus argillaceus</i> (Scopoli, 1763), <i>B. pascuorum</i> , <i>B. terrestris</i> , <i>B. hypnorum</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Anthophora plumipes</i> , <i>Lasioglossum xanthopus</i> (Kirby, 1802), <i>Osmia</i> sp.	Яснотки – хорошие медоносы, произрастающие в лесных фитоценозах.
<i>Syringa vulgaris</i> L. (Oleaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> .	Адвентивный кустарник, широко культивируемый в садах и парках Донбасса. Несмотря на сфингофильный венчик цветка сирени, пчелы активно берут нектар и пыльцу.
<i>Berberis vulgaris</i> L. (Berberidaceae)	V	<i>Andrena limata</i> , <i>Andrena</i> sp., <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. lapidarius</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Данный вид ограниченно распространен на исследуемой территории, как декоративный кустарник.
Виды рода <i>Caragana</i> Fabr. (<i>C. frutex</i> (L.) K. Koch, <i>C. scythica</i> (Kom.) Pojark., <i>C. arborescens</i> Lam. (Fabaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Xylocopa valga</i> Gerstäcker, 1872.	<i>C. arborescens</i> – лесной вид, используемый в Донбассе в зеленом строительстве как декоративный кустарник. <i>C. frutex</i> и <i>C. scythica</i> – степные виды, хорошо посещаемые пчелами.
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch.	V	<i>Apis mellifera</i>	По данным Л. И. Боднарчука и др. [3], кизильник

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
ex Blytt. (Rosaceae)			черноплодный – хороший поддерживающий медонос, имеющий среднюю медопродуктивность 100 кг/га.
<i>Isatis tinctoria</i> L. (Brassicaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , многие виды рода <i>Andrena</i> F.	Вайда красильная локально образует крупные скопления в степных биоценозах и является хорошим степным медоносом [3].
<i>Aesculus hippocastanum</i> L. (Sapindaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> .	Адвентивный вид, ограниченно распространенный на исследуемой территории. Источник нектара, пыльцы и пчелиного клея (прополиса).
Виды рода <i>Crataegus</i> L. (<i>C. fallacina</i> Klokov, <i>C. pseudokyrstostyla</i> Klokov) (Rosaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena limata</i> , <i>A. haemorrhoea</i> , <i>A. flavipes</i> , <i>A. carantonica</i> , <i>Bombus terrestris</i> .	Боярышники – хорошие, поздневесенние медоносы, дающие нектар и пыльцу.
<i>Lonicera tatarica</i> L. (Caprifoliaceae)	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> , <i>B. argillaceus</i> , <i>B. sylvarum</i> (Linnaeus, 1761), <i>Andrena limata</i> , <i>A. haemorrhoea</i> .	Широко распространенный в культуре адвентивный вид, дающий нектар и пыльцу.
<i>Rhamnus cathartica</i> L. (Rhamnaceae)	V–VI	<i>Apis mellifera</i>	По данным Л. И. Боднарчука и др. [3] жостер слабительный является хорошим поддерживающим медоносом.
Виды рода <i>Fragaria</i> L. (<i>F. campestris</i> Steven, <i>F. vesca</i> L., <i>F. viridis</i> Duchense) (Rosaceae)	V–VI	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena flavipes</i> , <i>Osmia bicornis</i> , <i>O. coerulescens</i> (Linnaeus, 1758).	Поздневесенне-раннелетние поддерживающие медоносы.
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. (Fabaceae)	V–VI (обычно третья декада мая)	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. lapidarius</i> .	Адвентивный широко распространенный в культуре вид с высокими значениями нектаропродуктивности (до 1000 кг/га) [3].
<i>Vicia tenuifolia</i> Roth (Fabaceae)	V–VI (конец мая – начало июня)	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> , <i>Andrena labialis</i> (Kirby, 1802), <i>A. flavipes</i> , <i>Eucera longicornis</i> (Linnaeus, 1758), <i>Osmia</i> sp., <i>Bombus sylvarum</i> , <i>B. rupestris</i> (Fabricius),	Массово-цветущий поздневесенне-раннелетний вид, активно посещаемый пчелами. Шмель земляной (<i>B. terrestris</i>) при взятии нектара прокусывает трубку венчика.

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
		1793), <i>B. vestalis</i> (Fourcroy, 1785).	
<i>Crambe tataria</i> (Brassicaceae)	V–VI	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena flavipes</i> .	Поздневесенне-раннелетний поддерживающий медонос.
<i>Nepeta transcaucasica</i> Grossh. (Lamiaceae)	V–IX	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Интродуцентный медонос, перспективный для культивирования в Донбассе в качестве лекарственного и медоносного растения.
<i>Spiraea hypericifolia</i> L. (Rosaceae)	V	<i>Apis mellifera</i>	
Виды рода <i>Rosa</i> L. (<i>R. corymbifera</i> Borkh., <i>R. dimorpha</i> Steven ex. Besser, <i>R. lapidosa</i> Dubovik, <i>R. lupulina</i> Dubovik, <i>R. villosa</i> L.) (Rosaceae)	V–VI	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. lapidarius</i> , <i>Xylocopa valga</i> .	Шиповники – хорошие поддерживающие медоносы, цветки которых являются большей частью источником пыльцы.
<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh. (Fabaceae)	V	<i>Apis mellifera</i>	Поздневесенне-раннелетний поддерживающий медонос.
<i>Hedysarum grandiflorum</i> Pall. (Fabaceae)	V–VII	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> .	
<i>Medicago sativa</i> L. (Fabaceae)	V–VII	<i>Apis mellifera</i> , <i>Melitturga clavicornis</i> (Latreille, 1806), <i>Rhophitoides canus</i> (Eversmann, 1852), <i>Melitta leporina</i> (Panzer, 1799).	Люцерна посевная – ценный медонос, используемый как источник промышленного медосбора.
Виды рода <i>Astragalus</i> L. (<i>A. pubiflorus</i> DC., <i>A. ucrainicus</i> M. Pop. & Klovov, <i>A. varius</i> S. G. Gmel.) (Fabaceae)	V–VIII	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> .	Астрагалы – хорошие медоносы (в большинстве летние), служащие источником поддерживающего медосбора.
<i>Trifolium pratense</i> L. (Fabaceae)	V–VI	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> .	Медопродуктивность клевера лугового от 80 до 200 кг/га [3].
<i>Trifolium repens</i> L. (Fabaceae)	V–IX	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. terrestris</i> .	

Примечания:

1. пчелы-опылители и посетители для каждого вида растений приведены в порядке, примерно, соответствующему уменьшению частоты посещения этого вида растений;
2. список растений приведен в порядке времени их зацветания на исследуемой территории;
3. ДБС – Донецкий ботанический сад.

Как видно из табл. 1, комплекс весенних медоносов включает не менее 66 различных видов энтомофильных растений, относящихся к 38 родам и 19 семействам. Безусловно, этот список можно дополнить еще целым рядом видов более редких и менее распространенных на территории Донбасса, но также активно посещаемых пчелами. В то же время предложенный список включает наиболее распространенные и относительно обильные виды весенних и весенне-раннелетних медоносов, многие из которых можно культивировать на припасечных участках, в лесопарках и полегающих лесополосах.

Следует отметить, что в качестве поддерживающих медоносов в ранневесенний период важную роль играют ранневесенние аспектированные виды эфемероидов и эфемеров, например, виды родов *Gagea*, *Viola*, *Ficaria verna*, *Corydalis solida* и др., а также энтомофильные виды родов *Salix* и *Acer*.

К числу важнейших весенних медоносов относятся также различные виды плодовых деревьев из семейства Rosaceae (рис. 1).



Рис. 1. Сбор пыльцы и нектара рабочими самками *Apis mellifera* (А, Б), самками *Osmia cornuta* (В) и *Andrena flavipes* (Г) на некоторых видах семейства Rosaceae:

А – на цветке абрикоса; Б – на цветке алычи; В – на цветке вишни; Г – на цветке земляники (А, Г – фото И. Н. Оголя; Б – фото автора; В – фото Д. А. Терещенко)

В табл. 2 указаны основные виды плодовых розоцветных, культивируемых в Донбассе, а также три вида ягодных культур. При этом наиболее распространенными видами являются абрикос, алыча, вишня, черешня, слива, груша и яблоня. В совокупности на их долю приходится основной взяток пыльцы и нектара, собираемого пчелами в весенний период в урбоценозах Донбасса, идущий на рост пчелосемей.

Таблица 2

Комплекс древесно-кустарниковых плодовых и ягодных медоносных культур Донбасса

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
Grossulariaceae			
<i>Ribes reclinatum</i> L.	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>A. varians</i> (Kirby, 1802), <i>A. limata</i> , <i>Osmia bicornis</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>Bombus lapidarius</i> , <i>B. hypnorum</i> , <i>Nomada ruficornis</i> (Linnaeus, 1758).	Первые три вида пчел (<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>A. varians</i>) регулярно посещают цветки крыжовника для взятия нектара и пыльцы.
<i>Ribes nigrum</i> L.	IV	<i>Apis mellifera</i> .	Черную и красную смородину активно посещают пчелы для взятия нектара и пыльцы.
<i>Ribes rubrum</i> L.	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> .	
Rosaceae			
<i>Prunus armeniaca</i> L.	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Andrena haemorrhoa</i> , <i>A. varians</i> , <i>A. dorsata</i> , <i>A. limata</i> , <i>A. carantonica</i> , <i>A. ventralis</i> Imhoff, 1832, <i>A. flavipes</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> , <i>Osmia cornuta</i> , <i>O. bicornis</i> , <i>Anthophora plumipes</i> , <i>Bombus terrestris</i> , <i>B. hypnorum</i> , <i>Xylocopa valga</i> .	Среди опылителей указанных видов плодовых розоцветных доминируют <i>Apis mellifera</i> , <i>Lasioglossum calceatum</i> , пчелы-осмии и пчелы андрениды (<i>Andrena</i>). Установлено, что при искусственном разведении пчел-осмий урожайность опыляемых ими плодовых культур существенно возрастает.
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	IV		
<i>Prunus domestica</i> L.	IV		
<i>Cerasus avium</i> (L.) Moench	IV		
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	IV		
<i>Persica vulgaris</i> Mill.	IV		
<i>Pyrus communis</i> L.	IV		
<i>Malus domestica</i> Borkh.	V		
<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	V	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Айву хорошо посещает медоносная пчела, но ее редко культивируют на приусадебных участках.

Кроме энтомофильных медоносов, пчелы (в частности, пчела медоносная) активно посещают некоторые виды анемофильных растений с целью взятия пыльцы (пергоносы) и смолистых веществ, для изготовления прополиса (пчелиного клея) (табл. 3). По литературным данным также известно, что медоносные пчелы ранней весной охотно собирают в свои зобики вытекающий березовый сок [4]. Роль анемофильных видов растений в питании пчел требует специальных исследований.

Комплекс весенних анемофильных видов медоносных растений Донбасса

Виды и семейства растений	Период цветения	Пчелы-опылители и посетители	Примечания
Betulaceae			
<i>Coryllus avellana</i> L.	III–IV	<i>Apis mellifera</i>	Анемофильный вид. По литературным данным [3], соцветия орешника активно посещает медоносная пчела с целью взятия пыльцы.
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn	III–IV	<i>Apis mellifera</i>	Хороший, ранневесенний пыльценос, служащий также источником смолистых веществ для получения прополиса [3]. Встречается локально на речных поймах.
Виды рода <i>Betula</i> L. (<i>B. pendula</i> Roth, <i>B. pubescens</i> Ehrh.)	IV	<i>Apis mellifera</i>	Ранневесенние пыльценосы и источники прополиса [3].
Salicaceae			
Виды рода <i>Populus</i> L. (<i>P. alba</i> L., <i>P. nigra</i> L., <i>P. tremula</i> L.)	III–IV	<i>Apis mellifera</i>	Ранневесенние пыльценосы и источники прополиса [3, 4].
Ulmaceae			
Виды рода <i>Ulmus</i> L. (<i>U. campestris</i> L., <i>U. glabra</i> Huds., <i>U. laevis</i> Pall.)	IV	<i>Apis mellifera</i>	Хорошо посещается медоносной пчелой для взятия нектара и пыльцы, идущих на развитие пчелосемей, а также является источником для изготовления прополиса [3].
Fagaceae			
<i>Quercus robur</i> L.	IV	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Пыльценос и источник для получения прополиса [3].
Juglandaceae			
<i>Juglans regia</i> L.	IV–V (конец апреля – первая половина мая)	<i>Apis mellifera</i> , <i>Osmia cornuta</i> .	Адвентивный, широко культивируемый на приусадебных участках вид. Источник пыльцы.

В практическом отношении, при содержании медоносной пчелы, весенние медоносы играют важную роль в наращивании силы пчелосемей после зимовки и подготовки семей к главному (летнему) взятку.

В этой связи культивирование весенних медоносов в полезащитных лесополосах, рекреационных лесных массивах, создаваемых вокруг городов, городских лесопарках, на приусадебных участках позволяет существенно увеличивать медоносные ресурсы Донбасса.

На указанных выше весенних медоносах было отмечено не менее 38 видов пчел из 15 родов и 5 семейств, в разной степени посещающих и опыляющих данные виды растений.

Наибольшее количество видов (15 видов, 41,2 %) было отмечено на плодовых розоцветных деревьях. При этом к числу важнейших опылителей плодовых и ягодных

культур Донбасса следует отнести виды рода *Andrena* (*Andrena haemorrhoa*, *A. varians*, *A. dorsata*, *A. limata*, *A. carantonica*, *A. flavipes*), *Lasioglossum calceatum*, *Osmia cornuta*, *O. bicornis*, а также медоносную пчелу (*Apis mellifera*) [1, 2]. Безусловно, приведенное нами число видов пчел-посетителей и опылителей указанных видов медоносных растений является не полным, так как видовой состав пчел, кроме прочих факторов, зависит также от географического места проведения наблюдений и с увеличением площади исследования закономерно возрастает до определенного предела. Кроме того, для многих видов медоносных растений изученность их видового состава опылителей остается очень низкой. В этой связи изучение пищевых связей пчел с энтомофильными растениями является перспективным направлением антэкологических исследований.

В табл. 4 приведены некоторые наиболее известные виды весенних медоносных растений, имеющих относительно высокие значения медопродуктивности, которые, наряду с некоторыми другими видами, можно культивировать на территории Донбасса.

Таблица 4

Некоторые виды весенних медоносов, имеющие наиболее высокие значения медопродуктивности (цит. по [3])

Виды растений	Медопродуктивность, кг/га
<i>Acer campestre</i> L. – Клен полевой	от 130–160 до 350–370
<i>A. platanoides</i> L. – Клен остролистный	от 65–70 до 150–200
<i>A. tataricum</i> L. – Клен татарский	100
<i>Salix caprea</i> L. – Ива козья	от 75 до 150
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. – Робиния лжеакация	200–500
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt. – Кизильник черноплодный	100
<i>Lamium maculatum</i> (L.) L. – Яснотка пятнистая	124
<i>Caragana arborescens</i> Lam. – Карагана древовидная	100–125

Выводы

На основе результатов многолетних исследований фауны и экологии пчел на территории Донбасса установлено 90 видов весенних и весенне-раннелетних медоносных растений, которые активно посещают 38 видов пчел для взятия нектара и пыльцы. Большинство выявленных медоносов (78 видов) относятся к энтомофильным растениям, в опылении которых пчелы играют главенствующую роль. 12 видов являются анемофильными, посещаемыми пчелами (в основном, *Apis mellifera*) для взятия пыльцы, вытекающего сока (береза) и смолистых веществ, служащих источником пчелиного клея. Среди весенних медоносов важное практическое значение составляют культивируемые человеком и одичалые виды плодовых розоцветных деревьев (не менее 8 видов) и ягодных кустарников (не менее 3 видов), в опылении которых принимают участие не менее 17 видов пчел. К числу важнейших опылителей плодовых розоцветных деревьев относятся не менее 10 видов пчел.

Для улучшения кормовой базы пчеловодства в Донбассе необходимо культивировать медоносные растения, вводя их в состав лесозащитных полос, городских лесопарков, рекреационных лесных массивов, а также создавать на припасечных территориях «цветочные конвейеры» из последовательно цветущих медоносных растений.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам ГБУ «Донецкий ботанический сад» докт. биол. наук А. З. Глухову, докт. биол. наук В. М. Остапко, канд. биол. наук О. К. Кустовой, канд. биол. наук Е. Г. Муленковой за оказанную консультативную помощь при подготовке данной статьи, а также донецким энтомологам И. Н. Оголю и Д. А. Терещенко за предоставленные автору фото пчел.

Список литературы

1. Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей плодово-ягодных культур на приусадебных участках г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 66–77.
2. Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей (Hymenoptera: Apiformes) крыжовника и малины в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 1–2. С. 23–28.
3. Боднарчук Л. І., Соломаха Т. Д., Ілляш А. М., Соломаха В. А., Горовий В. Г. Атлас медоносных рослин України. К. : Урожай, 1993. 272 с.
4. Глухов М. М. Медоносные растения. М. : Колос, 1974. 304 с.
5. Глухов А. З., Горлачева З. С., Кустова О. К. Эфирномасличные и пряно-ароматические растения (интродукция, адаптивная стратегия, оценка перспективности выращивания). Донецк : Восток–Пресс–Плюс, 2013. 238 с.
6. Кондратюк Е. Н., Бурда Р. И., Остапко В. М. Конспект флоры юго-востока Украины. Сосудистые растения. К. : Наук. думка, 1985. 272 с.
7. Определитель высших растений Украины / Д. М. Доброчаева, М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин и др. К. : Наук. думка, 1987. 584 с.
8. Песенко Ю. А. К методике количественных учетов насекомых-опылителей // Экология. 1972. № 1. С. 89–95.
9. Попов В. В. Сбор и изучение опылителей сельскохозяйственных культур и других растений // В помощь работающим на полевых участках лесных полос. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1950. Вып. 2. 35 с.
10. Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphyta and Apocrita: Aculeata // Proceedings of the Zoological Institute RAS. Saint Petersburg, 2017. Suppl. № 6. 475 p.

Amolin A. V. Materials for the study of the honey plants of Donbass. Message I. Spring and spring-early summer honey plants. – The article provides information on 90 species of spring and spring-early summer honey plants of Donbass. On these honey plants, at least 38 species of bees 15 genera and 5 families were noted to varying degrees visiting and pollinating these species of plants. Among spring honey plants, human-cultivated and wild species of fruit trees (at least 8 species) and berry shrubs (at least 3 species) are of great practical importance. At least 17 species of bees take part in pollination of fruit trees and berry shrubs.

Key words: honey plants, bees pollinators, Donbass.

© И. Н. Оголь

**ИНВАЗИЯ ПАРАЗИТОИДА *ELASMUS SCHMITTI* RUSCHKA, 1920 И ЕГО
ГИПЕРПАРАЗИТОИДА *BARYSCAPUS ELASMI* (GRAHAM, 1986) (HYMENOPTERA:
EULOPHIDAE) В ПОПУЛЯЦИЯХ ОС-ПОЛИСТОВ (HYMENOPTERA: VESPIDAE:
POLISTES) ГОРОДА ДОНЕЦКА**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: ylyaogol@mail.ru

Оголь И. Н. Инвазия паразитоида *Elasmus schmitti* Ruschka, 1920 и его гиперпаразитоида *Baryscapus elasmii* (Graham, 1986) (Hymenoptera: Eulophidae) в популяциях ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: Polistes) города Донецка. – На предмет наличия *Elasmus schmitti* и следов его пребывания изучены более 1000 гнезд трех обитающих в г. Донецке видов ос-полистов: *Polistes gallicus*, *P. nimpha* и *P. dominula*. Только для последнего из них отмечена инвазия данного паразитоида, причем его встречаемость и обилие были довольно низкими. Во всех отмеченных случаях был найден также гиперпаразитоид *Baryscapus elasmii*, который утилизировал большую часть куколок *E. schmitti*. В пределах одной семьи *P. dominula* развивалось только одно поколение *E. schmitti* и *B. elasmii*, продолжительность преимагинального онтогенеза обоих видов составляла 15–20 суток, зимовка происходила вне гнезд. В целом, влияние наездников-эвлофид на популяции ос-полистов г. Донецка следует охарактеризовать как незначительное.

Ключевые слова: наездники, общественные осы, фенология, жизненный цикл.

Введение

Общественные осы рода *Polistes* Latreille, 1802 являются активными энтомофагами, в первую очередь, в отношении личинок бабочек и пилильщиков, что делает их перспективным объектом для применения в биометоды борьбы со многими сельскохозяйственными вредителями [14]. Этим обусловлено практическое значение изучения их естественных врагов, в том числе паразитоидов. Следует отметить, что самки этих ос обладают выраженным коллективным оборонительным поведением, активно атакуя приближающихся к гнездам животных, а также внимательно следят за собственным расплодом, удаляя из гнезд больных и мертвых особей. Поэтому инвазия паразитоидов в семьях ос-полистов сопряжена с преодолением многоуровневой защиты. Во-первых, самке наездника требуется заразить личинку или куколку осы-полиста и не быть при этом уничтоженной имагинальным населением гнезда. Во-вторых, поедание хозяина личинками паразитоида должно пройти незаметно для взрослых ос. В-третьих, куколки паразитоида нуждаются в защите от взрослых ос, стремящихся очистить ячейки гнезда от любого инородного содержимого. В-четвертых, отродившиеся имаго дочернего поколения наездника должны беспрепятственно покинуть гнездо. Таким образом, специализация любого паразитоида на осах-полистах в качестве хозяев должна сопровождаться рядом специфических адаптаций, изучение которых представляет теоретический интерес.

4 вида эвлофид рода *Elasmus* Westwood, 1833 известны в качестве первичных паразитоидов ос-полистов [10, 11]. Рид и Винсон хорошо изучили биологию *Elasmus polistis* Burks, 1971 на территории США [13], в Японии С. Макино и К. Саяма проделали подобную работу над *Elasmus japonicus* Ashmead, 1904 [12]. Биология обоих видов оказалась схожей: самки заражают закрытый расплод, прокалывая яйцекладом стенку ячейки и откладывая на тело предкуколки или куколки хозяина множество яиц. Вылупившиеся личинки питаются куколкой осы как эктопаразитоиды, локализуясь на метасоме. По завершении питания они сообща сооружают перегородку из собственных мекониев (т. н. фекальная перегородка), поперечно разделяющую ячейку на два примерно равных пространства: внутреннее, прилежащее к донцу, и наружное, прилежащее к кокону хозяина. Во внутреннем пространстве личинки паразитоида окукливаются без плетения коконов, во внешнем сохраняются останки передней части тела хозяина, которые вместе с коконом хозяина обычно удаляют взрослые осы. При этом последние неспособны разрушить очень твердую фекальную перегородку и уничтожить защищенные ею куколки наездника. Имаго покидают

ячейку, прогрызая отверстия в ее боковых стенках. Копуляция происходит вне гнезда хозяина. Продолжительность преимагинального онтогенеза составляет у *E. polistis* 17–20 дней, лишь 5 из которых приходятся на фазу личинки, для *E. japonicus* такие сведения отсутствуют. У обоих паразитоидов в течение года развивается несколько (не менее двух) поколений, зимовка происходит в фазе куколки в гнездах хозяина.

Европейский вид *Elasmus schmitti* Ruschka, 1920 изучен в значительно меньшей степени. А. Гумовский с соавторами установили, что его биология сходна с таковой двух вышеупомянутых представителей рода, а также определили, что *E. schmitti* является проовигенным видом, т. е. его самки отрождаются со зрелыми яйцами в яичниках и не нуждаются в дополнительном белковом питании [10]. К. Козира с соавторами исследовали некоторые аспекты фенологии *E. schmitti* в Польше, отметив отрождение имаго во 2–3 декадах июля, а также определив соотношение полов, которое оказалось сильно смещенным в сторону самок (от 14:1 до 18:1) [11]. По-прежнему остаются неизвестными продолжительность преимагинального развития, фаза и места зимовки, точное количество генераций *E. schmitti* в году (судя по фенологической картине заражения семей, предполагается наличие двух [6]).

В качестве хозяев *E. schmitti* отмечены 4 вида ос: *Polistes dominula* (Christ, 1791), *Polistes nimpha* (Christ, 1791), *Polistes gallicus* (Linnaeus, 1767) и *Polistes biglumis* (Linnaeus, 1758) [7, 11, 15, 16], на территории г. Донецка по нашим данным встречаются первые 3 из них. В свою очередь сам *E. schmitti* является единственным хозяином гиперпаразитоида *Baryscapus elasmii* (Graham, 1986). Некоторые аспекты его биологии изучены А. Гумовским с соавторами [10]. Согласно этим данным, личинки развиваются как солитарные эндопаразитоиды куколок *E. schmitti*, затем окукливаются либо внутри них, ориентируясь головой по направлению к заднему концу тела хозяина, либо (реже) предварительно выйдя наружу. Все преимагинальное развитие происходит в пространстве за фекальной перегородкой хозяина, там же отмечена копуляция. В отличие от своего хозяина, *B. elasmii* является синовигенным видом, чьи самки для созревания яиц нуждаются в белковой пище, в качестве которой используют гемолимфу личинок и куколок ос-полистов, добываемую путем проколов их покровов яйцекладом. Таким образом, *B. elasmii* занимает одновременно два трофических уровня, выступая не только паразитоидом *E. schmitti*, но и паразитом *Polistes* spp. Фенология *B. elasmii* схожа с таковой *E. schmitti*, соотношение полов также смещено в сторону самок (от 4:1 до 8,8:1) [11]. Другие аспекты его биологии, в том числе механизм заражения хозяина, неизвестны. Судя по литературным данным, *B. elasmii* повсеместно является неотъемлемым спутником *E. schmitti*, уничтожая значительную долю его куколок. Например, в Польше выход имаго гиперпаразитоида отмечен из 68,4 % ячеек с фекальными перегородками в гнездах *P. nimpha* [11]. Даже самое первое упоминание об *E. schmitti* [15] содержит описание не только наездников с желтой окраской, характерной для данного вида, но и отродившихся вместе с ними из тех же ячеек похожих черных наездников, которые, как мы предполагаем, являлись *B. elasmii*.

Встречаемость *E. schmitti* в популяциях хозяев подвержена значительной географической и ландшафтно-биотопической вариации, иногда может достигать больших величин (более 70 % семей), что делает инвазию этого паразитоида важным лимитирующим фактором для ос-полистов в некоторых регионах Восточной Европы [6, 7]. На территории Донбасса данный вопрос малоизучен. В Луганском природном заповеднике фекальные перегородки *E. schmitti* были найдены лишь в 1 из 294 гнезд *P. nimpha*, собранных со стеблей растений, и не обнаружены ни в одном из 14 гнезд *P. nimpha* и 29 гнезд *P. dominula*, собранных с чердаков административных зданий [9]. Таким образом, здесь данный паразитоид не оказывал существенного влияния на популяции ос-полистов. Нет опубликованных сведений об *E. schmitti* с территории современной ДНР, хотя и сообщается, что сборы гнезд ос-полистов в Донецкой области Украины проводились [5]. Встречаемость *B. elasmii* в семьях ос, зараженных *E. schmitti*, на постсоветском пространстве исследована

только в одной географической точке – Черноморском биосферном заповеднике (Херсонская область), где она составила 0 % в 2003 г. и 100 % в 2004 и 2005 гг. [10].

Основная цель настоящей работы – установление особенностей инвазии *E. schmitti* и *B. elasmii* в популяциях ос-полистов ДНР на примере г. Донецка. Дополнительная цель – пополнение общих знаний о биологии этих видов эвлофид, их взаимодействиях между собой и с осами-полистами. Для достижения названных целей были поставлены следующие задачи: 1) определить встречаемость и обилие *E. schmitti* в гнездах *P. gallicus*, *P. nimpha* и *P. dominula*; 2) оценить степень давления, оказываемого на него *B. elasmii*; 3) изучить фенологию и этологию имаго *E. schmitti* и *B. elasmii*; 5) проследить взаимодействия *E. schmitti* и *B. elasmii* с осами-полистами и оценить влияние, оказываемое ими на популяции последних.

Материал и методы исследования

Сбор материала осуществлялся в г. Донецке в 2003–2022 гг. тремя основными методами:

1. Регулярный визуальный осмотр и фотофиксация содержимого ячеек интактных гнезд ос-полистов в полевых условиях на протяжении всего периода жизни семей (весна – осень). При этом отмечали наличие как фекальных перегородок, так и имаго паразитоидов. Таким образом, в общей сложности исследовано более 1000 семей всех трех изучаемых видов ос.

2. Ежедневные наблюдения за гнездами, изъятых из природы и перемещенных вместе с семьями на лоджию 5-го этажа жилого дома (табл. 1) с последующим открытием пути для фуражировочных полетов ос во двор – исследовано 9 семей *P. dominula* и 1 семья *P. nimpha*.

3. Сбор покинутых гнезд в осенне-зимний период для выявления в их ячейках фекальных перегородок и возможных зимующих эвлофид – исследовано 21 гнездо *P. gallicus* и 6 гнезд *P. nimpha*, собранных с побегов растений в степных балках и на залежах на окраинах Кировского и Ленинского районов г. Донецка, 67 гнезд *P. dominula*, собранных из укрытий антропогенного происхождения в различных районах города (табл. 1).

Таблица 1

Изученные места гнездования *Polistes dominula* в г. Донецке

№ п/п	Район города	Микрорайон или поселок	Особенности ландшафта	Гнездовые укрытия	
				Тип	Высота над землей, м
1	Куйбышевский	Смолянка	многоэтажная жилая застройка	полые металлоконструкции	1,8–2
2	Куйбышевский	Красный Пахарь	одноэтажная жилая застройка	пространство под шиферной кровлей	2
3	Ворошиловский	Семеновка	многоэтажная жилая застройка	полые металлоконструкции	1,8–2,5
4	Кировский	Текстильщик	многоэтажная жилая застройка	полые металлоконструкции, пустоты в железобетонных стенах	0,3–3
5	Кировский	Текстильщик	лоджия 9-этажного жилого дома	инсектарии из пенопласта и стекла	15–16
6	Кировский	–	огороды	деревянные постройки	1,5–2,5

В системе «паразит – хозяин» экстенсивность межпопуляционной связи может быть количественно оценена по показателю встречаемости паразита, а интенсивность – по показателю его обилия [1]. Применяя концепцию семьи-сверхорганизма, удобную в экологических исследованиях общественных насекомых [2], встречаемость *E. schmitti* определяли как долю семей (гнезд), в которых отмечены фекальные перегородки, а обилие – как долю ячеек с фекальными перегородками от общего числа ячеек в гнезде. Поскольку

далеко не все ячейки гнезда используются осами для выращивания расплода, в качестве альтернативного показателя обилия также определяли долю зараженных ячеек от суммарного числа закрытого расплода (коконов ос), отмеченного в гнезде за все время его существования, если такие данные имелись в наличии.

Из количественного анализа зараженности были исключены семьи, преждевременно погибшие по причинам, не связанным с предметом исследования, а также семьи, чьи первичные гнезда были разрушены, а дальнейшее развитие проходило на вторичных гнездах. Таким образом, в каждом случае учтены все фекальные перегородки *E. schmitti*, накопившиеся в гнезде за время существования семьи. *B. elasmii* не оставляет в покинутых гнездах заметных следов своего пребывания, поэтому его инвазию отмечали только по факту обнаружения имаго при наблюдениях за живыми семьями.

Для статистического сравнения долей применяли точный критерий Барнарда (CSM), реализованный в пакте Eхact 1.6 программной среды R.

Результаты и обсуждение

E. schmitti (рис. 1, А) и следы его пребывания найдены исключительно в гнездах *P. dominula*, построенных в укрытиях антропогенного происхождения. Паразитоид отмечен лишь в 2 из 6 исследованных биотопов, при этом в гнездах, перемещенных на лоджию или построенных там естественным образом (биотоп № 5), на протяжении ряда лет он встречался часто (в 4 из 7 семей), тогда как ни в одном из 54 интактных гнезд, построенных поблизости, но на меньшей высоте (биотоп № 4), следы его пребывания не обнаружены (табл. 2).

Таблица 2

Встречаемость и обилие фекальных перегородок *E. schmitti* в зрелых гнездах *P. dominula*

Биотоп, №	Год постройки	Количество гнезд		Встречаемость, % гнезд	Обилие	
		общее	зараженных		% всех ячеек	% закрытого расплода
2	2009	3	2	66,7	0,6–1,9	нет данных
5	2003	2	1	50	нет данных	нет данных
5	2007	1	1	100	нет данных	нет данных
5	2008	2	0	0	–	–
5	2009	1	1	50	4,5	нет данных
5	2015	1	1	50	12,9	33
5	2016	2	0	0	–	–
4	2007	2	0	0	–	–
4	2013–2014*	1	0	0	–	–
4	2017–2018*	1	0	0	–	–
4	2018	2	0	0	–	–
4	2019	1	0	0	–	–
4	2021	18	0	0	–	–
4	2022	24	0	0	–	–
4	нет данных	5	0	0	–	–
6	2021	2	0	0	–	–
1	2021	3	0	0	–	–
3	2021	5	0	0	–	–
Всего	2003–2022	76	6	8	–	–

Примечания:

1. нумерация биотопов дана в соответствии с табл. 1;
2. звездочкой отмечены многолетние гнезда.

Это различие статистически значимо ($p = 0,00002$), однако имеющихся данных недостаточно для того, чтобы сделать заключение о его причине. Ею может являться как разница в высоте гнездовых укрытий над землей, так и какой-то иной неучтенный фактор, сделавший условия на лоджии особенно благоприятными для инвазии *E. schmitti*. В объединенной выборке гнезд из всех биотопов встречаемость следов данного паразитоида составила 8 %, что намного ниже, чем в большинстве биотопов Херсонской области [7].

Максимальное значение обилия паразитоида составило 12,9 % ячеек гнезда, или 33,3 % закрытого расплода. Оно наблюдалось на перемещенном на лоджию гнезде в 2015 г. и имело следствием очень низкую продуктивность семьи: выращено всего 2 дочерних основательницы и 2 самца при изначальном числе основательниц, равном 3. Во всех прочих изученных случаях зараженность гнезд была низкой (до 4,5 % ячеек). В их числе были 4 перемещенных и 1 интактная семьи на лоджии, наблюдения за которыми показали, что инвазия затрагивала только первый выводок ос, поэтому влияние паразитоида на продуктивность семей было небольшим. Осы успешно использовали зараженные ячейки для повторного выращивания расплода, надстраивая их стенки и откладывая яйца поверх перегородок, что минимизировало потери объема гнезда.

Во всех случаях прижизненного изучения семей *P. dominula* с инвазией *E. schmitti* (4 находящихся на лоджии), в них был отмечен также *B. elasmii* (рис. 1, Б), являющийся эндопаразитоидом куколок *E. schmitti* [10]. Помимо высокой встречаемости следует отметить также высокое обилие данного гиперпаразитоида: почти из всех наблюдавшихся ячеек с фекальными перегородками *E. schmitti* (несколько десятков) отродилось на порядок больше имаго *B. elasmii*, чем *E. schmitti*. Из многих из них вообще выходили только гиперпаразитоиды. Такая картина стабильно сохранялась с 2003 по 2016 гг. Только из одной ячейки в 2009 г. отмечен выход исключительно имаго первичного паразитоида. Следовательно, по меньшей мере, в этом биотопе *B. elasmii* оказывает существенное лимитирующее воздействие на популяцию *E. schmitti*, тем самым сильно снижая урон, наносимый последним *P. dominula*. Однако гиперпаразитоид одновременно оказывает и противоположное влияние. Известно, что для созревания яиц ему требуется имагинальное питание гемолимфой личинок и куколок ос-полистов [10]. Наши наблюдения показали, что с этой целью самки *B. elasmii* прокалывают яйцекладом не только зараженных первичным паразитоидом куколок, но и незараженных, а также личинок *P. dominula* 3-го и старших возрастов, причиняя им вред. В частности, у одной подвергшейся нападению личинки 3-го возраста отмечено появление темного круглого пятна на дорсальной стороне тела, а при осмотре на следующие сутки эта личинка оказалась уничтоженной взрослыми осами.

Рис. 2 показывает, что в 2015 г. на одном гнезде массовая гибель личинок *P. dominula* следовала сразу за массовым выплодом имаго *B. elasmii*. Однако нельзя исключать, что это совпадение является случайным, поскольку похожие резкие всплески смертности расплода, свидетельствующие о начале угасания семьи, характерны и для незараженных гнезд. Таким образом, вопрос о силе отрицательного воздействия имагинального питания *B. elasmii* на семьи *P. dominula* требует дополнительных исследований.

По нашим наблюдениям самка *B. elasmii* откладывает яйца, прокалывая яйцекладом стенки ячейки с куколкой осы, зараженной *E. schmitti*, находясь в смежной ячейке. При этом иногда наблюдали многократное прокалывание одной и той же стенки в течение короткого времени (около 1 мин), вероятно, являющееся частью процедуры поиска куколок *E. schmitti*. Выход имаго *E. schmitti* и *B. elasmii*, как правило, происходил через прогрызаемые ими круглые отверстия диаметром около 0,5 мм в боковых стенках зараженной ячейки (рис. 1, Д). Обычно имелось несколько таких отверстий в разных стенках по периметру ячейки. В качестве исключения следует назвать одну ячейку, наблюдавшуюся в 2015 г., где аналогичное отверстие было прогрызено прямо в центре фекальной перегородки (рис. 1, Е). Большую часть времени имаго *E. schmitti* и *B. elasmii* проводили глубоко в ячейках гнезда (пустых либо содержащих яйца или личинок младших возрастов), совершенно не замечаемые взрослыми осами (рис. 1, В–Г).

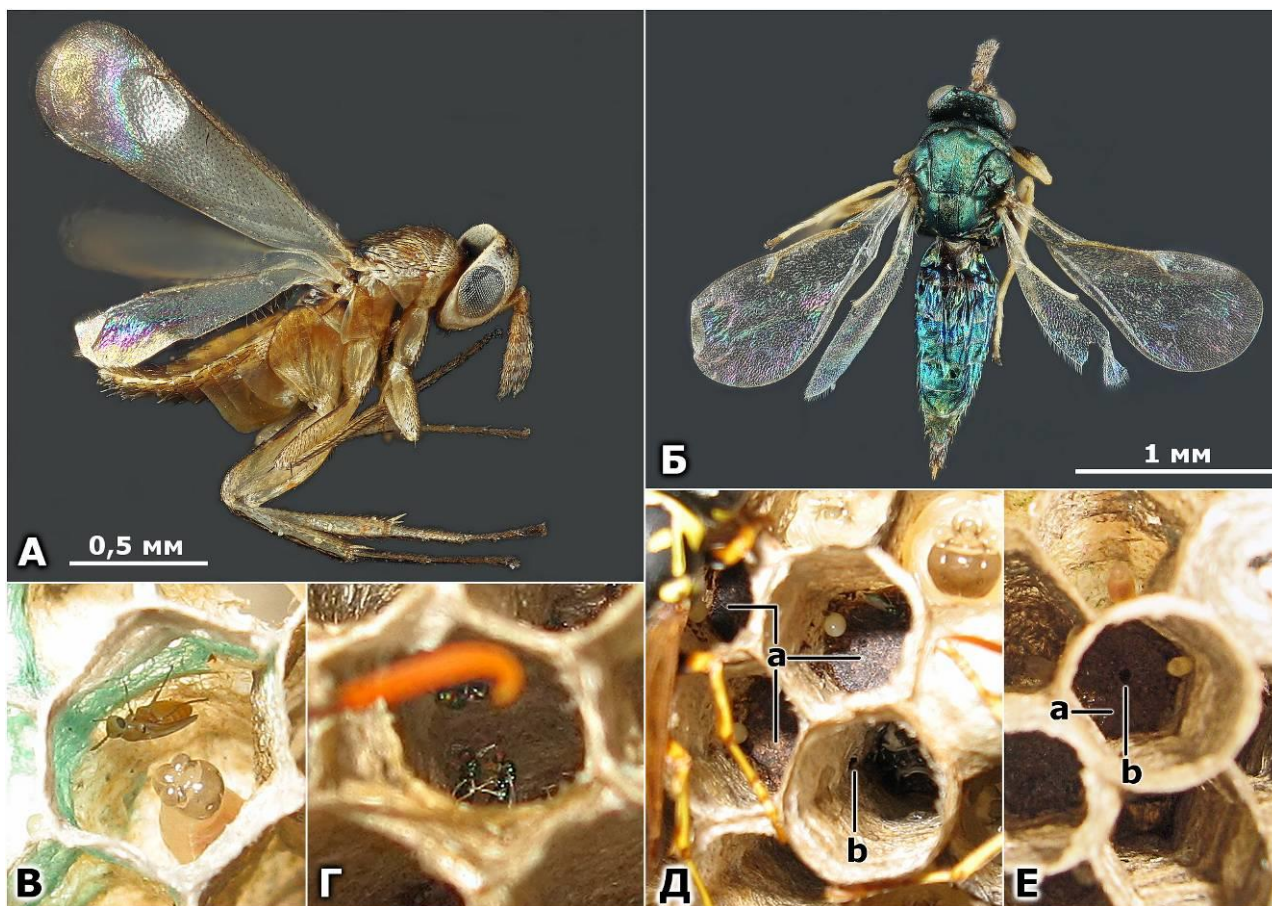


Рис. 1. *E. schmitti* и *B. elasmii*: А – имаго *E. schmitti*, самка; Б – имаго *B. elasmii*, самка; В – самка *E. schmitti* в ячейке гнезда хозяина; Г – копуляция *B. elasmii*; Д–Е – фекальные перегородки *E. schmitti* (а) и отверстия, через которые вышли имаго *E. schmitti* или *B. elasmii* (b)

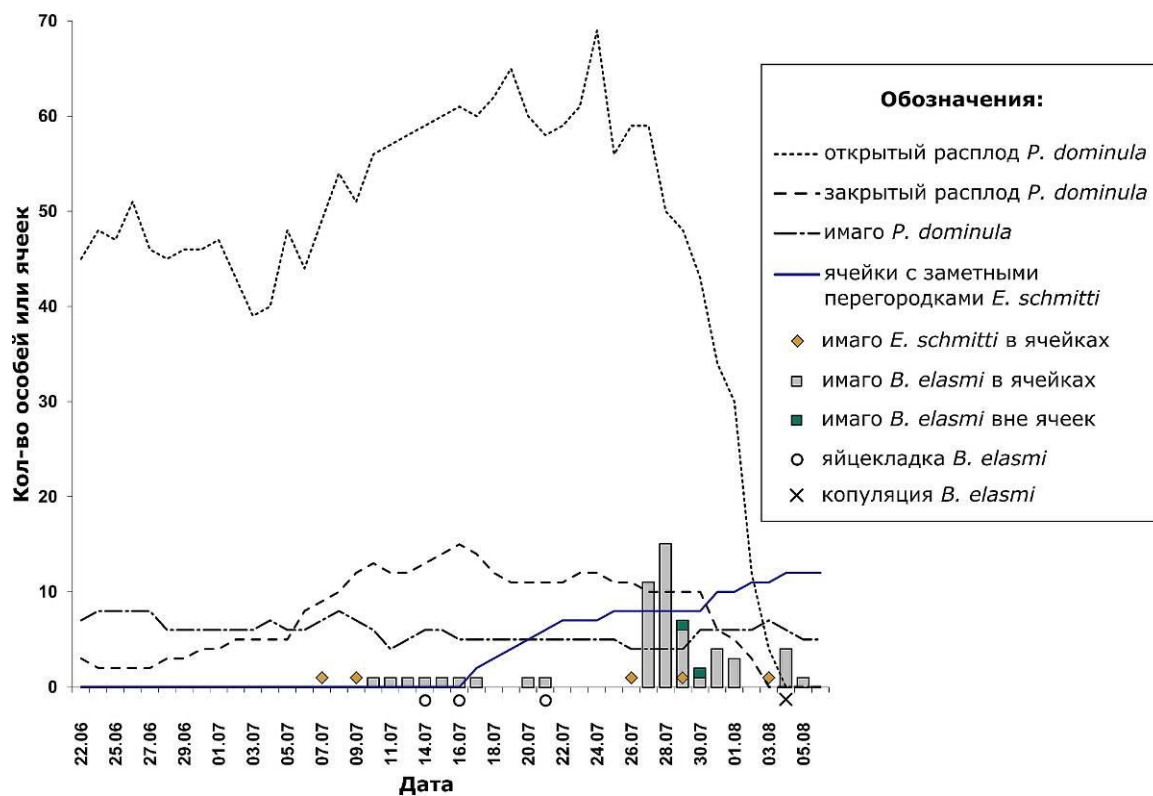


Рис. 2. Фенология инвазии *E. schmitti* и *B. elasmii* на фоне фенологии развития одной семьи *P. dominula* в 2015 г. по данным ежесуточных осмотров гнезда в ночные часы

Перемещение наездников между ячейками происходило не только по внешней поверхности сота, но и через отверстия, прогрызаемые ими в боковых стенках ячеек, что, вероятно, также служило цели сокрытия своего присутствия от ос. В глубине пустых ячеек отмечены два случая копуляции *B. elasmii*, произошедшие вскоре после отрождения (рис. 1, Г). Это отличается от наблюдений А. Гумовского и др., которые отмечали спаривание данного вида только в пространстве под фекальными перегородками *E. schmitti*, где самцы поджидали самок, отрождавшихся из куколок [10]. Следовательно, у данного наездника существуют, как минимум, две различные стратегии брачного поведения.

Скрытое пребывание имаго *E. schmitti* и *B. elasmii* через несколько дней после вытлада сменялось массовым покиданием гнезда, которое происходило как путем вылета, так и путем разбегания по субстрату. При этом часть особей покидала гнездо навсегда, другая вскоре возвращалась обратно. Эти наблюдения были произведены при наличии в гнездовом ящике лишь одного гнезда, но позволяют предположить, что в случае соседства нескольких гнезд в одном укрытии паразитоиды могут перемещаться между ними для поиска неродственных половых партнеров. В отличие от периода скрытой жизни в период активного передвижения имаго обоих видов наездников подвергались нападениям со стороны рабочих *P. dominula*, которые яростно атаковали их мандибулами, но в наблюдавшихся случаях всегда промахивались. Ранее агрессивное поведение ос-полистов в отношении этих паразитоидов не фиксировалось [8, 10].

Фенология инвазии *E. schmitti* или *B. elasmii* детально изучена на 2 гнездах *P. dominula*. В перемещенном на лоджию 22 июня 2015 г. гнезде отмечены два периода присутствия имаго: первый соответствовал проникновению заражающих самок и приходился на пик количества закрытого расплода, второй являлся следствием отрождения дочернего поколения (см. рис. 2). Продолжительность преимагинального онтогенеза, проходившего при суточных колебаниях температуры воздуха в пределах 15,2–37 °С, была сходна для обоих видов эвлофид и составляла приблизительно 15–20 суток, что напоминает таковую *Elasmus polistis* [13]. В интактном гнезде, построенном на лоджии в 2009 г., картина была сходной, но смещенной на более ранние сроки: имаго наездников в ячейках гнезда отмечены с 31 мая по 28 июня, а массово покидающие гнездо – 26 июня. В пределах каждой семьи за год развивалась только одна генерация паразитоида. Вместе с тем, сходство периода вытлада наездников в 2009 г. с периодом начала заражения в 2015 г. не позволяет исключить возможность развития второго поколения в другой семье хозяина. Однако это означало бы полный переход всех особей *E. schmitti* (а вслед за ним и *B. elasmii*) в другую семью ос при наличии массы подходящих для заражения хозяев в материнской семье, что представляется сомнительным. Альтернативным объяснением могла бы стать облигатная моновольтинность обоих видов при широком диапазоне вариации сроков заражения благодаря высокой продолжительности жизни самок. Несомненно, данный вопрос требует детальных исследований. Как показал наш опыт с ихневмонидом *Latibulus argiolus* (Rossi, 1790) [4], простейшие логические построения, не подкрепленные прямыми наблюдениями, в подобных случаях могут приводить к неверным выводам.

Не отмечено ни одного вылета *E. schmitti* или *B. elasmii* из гнезд, собранных в зимнее время, потому очевидно, что зимовка происходит в иных местах. Вероятно, оба названных вида эвлофид зимуют в фазе имаго, что отличает их от *E. polistis* и *E. japonicus*, зимующих в фазе куколки [12, 13].

Выводы

Инвазия *E. schmitti* отмечена в популяции только одного из трех видов ос-полистов фауны г. Донецка – *P. dominula*. Встречаемость данного паразитоида имеет выраженную биотопическую вариабельность, но в среднем составляет приблизительно 8 %, что является сравнительно низким показателем. За редким исключением *E. schmitti* заражает лишь небольшую долю расплода в семьях. Поскольку как экстенсивность, так и интенсивность инвазии невысоки, этот наездник оказывает слабое влияние на популяцию хозяина и не

может быть отнесен к числу важнейших естественных врагов *P. dominula* на исследуемой территории. Местные популяции *P. gallicus* и *P. nimpha*, вероятно, полностью свободны от его давления.

Встречаемость и обилие гиперпаразитоида *B. elasmii* в популяции *E. schmitti* очень высоки. Его инвазия является первоочередным лимитирующим фактором для популяции *E. schmitti*, ослабляя давление последней на популяции ос-полистов. Вместе с тем, временный паразитизм имаго *B. elasmii* на личинках и незараженных куколках *P. dominula* может иметь и негативные последствия для семей ос.

Оба изучаемых вида эвлофид имеют короткий преимагинальный онтогенез. Вероятно, как и в случае с *L. argiolus* [4], личинки *E. schmitti* развиваются очень быстро, чтобы успеть завершить питание и построить фекальную перегородку до того, как запах разложения привлечет внимание взрослых ос. В пределах одной семьи развивалось только одно поколение *E. schmitti* и *B. elasmii*, что может свидетельствовать об их моновольтинности. Однако, поскольку некоторые случаи заражения происходили на месяц раньше других, не исключена и возможность бивольтинности со сменой семей-хозяев. Целенаправленное избегание повторного заражения одной и той же семьи может являться механизмом предотвращения нанесения избыточного вреда популяции хозяина. В жизненных циклах *E. schmitti* и *B. elasmii* остаются и другие неизученные моменты, в частности зимовка. Таким образом, сохраняется широкое поле для дальнейших исследований биологии этих эвлофид.

Результаты настоящего исследования подтверждают нашу гипотезу о том, что необходимым условием успешного развития любых специализированных паразитоидов расплода ос-полистов является способность сооружать прочный защитный барьер перед окукливанием, препятствующий очистке зараженной ячейки взрослыми осами. В случае с изученным нами ранее ихневмонидом *L. argiolus* в роли такого барьера выступал прочный кокон особой формы, сплетаемый личинкой самостоятельно [3, 4]. У *E. schmitti* аналогичную роль выполняет фекальная перегородка, являющаяся результатом коллективной деятельности личинок. *B. elasmii* развивается за этим же барьером, поэтому не нуждается в создании собственного. Выявленные нами гиперпаразитоиды *L. argiolus* тоже используют его коконы как защиту от ос (неопубликованные данные). Следовательно, занятие экологической ниши вторичного паразитоида, ассоциированного с осами-полистами, требует от вида менее радикальных морфофизиологических адаптаций, чем в случае с первичными паразитоидами этих ос. Данное наблюдение пополняет знания об общих механизмах формирования и функционирования комплексов паразитоидов общественных насекомых.

Список литературы

1. Беклемишев В. Н. О классификации биоценологических (симфизиологических) связей // Бюллетень МОИП. Отдел биол. 1951. Т. LVI, вып. 5. С. 3–30.
2. Киятков В. Е. Происхождение общественных насекомых. М. : Знание, 1985. 64 с.
3. Оголь И. Н. Биология наездника *Latibulus argiolus* (Rossi) (Hymenoptera: Ichneumonidae), паразитоида ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: Polistes). I. Морфология преимагинальных фаз и строение коконов // Евразийский энтомол. журн. 2021. № 20, вып. 2. С. 65–75.
4. Оголь И. Н. Биология наездника *Latibulus argiolus* (Rossi) (Hymenoptera: Ichneumonidae), паразитоида ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: Polistes). II. Жизненный цикл в условиях города Донецка и поведение // Евразийский энтомол. журн. [в печати].
5. Рева А. В., Плющ С. А., Привалова Е. Н., Русина Л. Ю. Продуктивность ос-полистов (Hymenoptera, Vespidae) в Украине // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии : Матер. I Междунар. науч. конф. студ., асп. и молод. уч. (Донецк, 23–26 февраля 2009 г.). Донецк : Изд-во «Вебер», 2009. Т. 1. С. 234–235.
6. Русина Л. Ю. Дискриминационная способность паразитоидов *Elasmus schmitti* (Hymenoptera, Eulophidae) и *Latibulus argiolus* (Hymenoptera, Ichneumonidae) из семей ос-полистов (Hymenoptera, Vespidae) // Зоол. журн. 2011. Т. 90, вып. 10. С. 1197–1203.

7. Русина Л. Ю. Роль паразитоидов в регуляции численности популяции ос-полистов (Hymenoptera, Vespidae: Polistinae) // Энтомол. обозр. 2012. Т. 91, № 4. С. 691–703.
8. Русина Л. Ю. Структурно-функциональная организация популяций ос-полистин (Hymenoptera, Vespidae: Polistinae) : Дисс. ... докт. биол. наук : 03.02.05 «Энтомология». СПб., 2014. 497 с.
9. Русина Л. Ю., Бозуцкий М. П. Осы-полисы Луганского природного заповедника // Научные труды Луганского природного заповедника. Вып. 1. Растительный и животный мир и его охрана. Луганск, 2008. С. 164–177.
10. Gumovsky A., Rusina L., Firman L. Bionomics and morphological and molecular characterization of *Elasmus schmitti* and *Baryscapus elasmii* (Hymenoptera, Chalcidoidea, Eulophidae), parasitoids associated with a paper wasp, *Polistes dominulus* (Vespoidea, Vespidae) // Entomological Science. 2007. Vol. 10. P. 21–34.
11. Kozyra K. B., Baraniak E., Tyczewska M. J. Parasitoids of the paper wasp *Polistes nimpha* (Hymenoptera: Vespidae) in Poland // Zoology and Ecology. 2014. Vol. 24, № 1. P. 58–61.
12. Makino S., Sayama K. Bionomics of *Elasmus japonicus* (Hymenoptera, Elasmidae), a parasitoid of a paper wasp, *Polistes snelleni* (Hymenoptera, Vespidae) // Japanese Journal of Entomology. 1994. Vol. 62. P. 377–383.
13. Reed H. C., Vinson S. B. Observations of the life history and behavior of *Elasmus polistis* Burks (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae) // Journal of the Kansas Entomological Society. 1979. Vol. 52, № 2. P. 247–257.
14. Richter M. R. Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) foraging behavior // Annual review of entomology. 2000. Vol. 45, № 1. P. 121–150.
15. Schmitt C. Beiträge zur Biologie der Feldwespe (*Polistes gallicus* L.) // Zeitschrift für wissenschaftliche Insektenbiologie. 1920. Bd. 15. S. 221–230.
16. Yefremova Z. A., Strakhova I. S. A review of the species of the genus *Elasmus* Westwood (Hymenoptera, Eulophidae) from Russia and neighboring countries // Entomological Review. 2010. Vol. 90, N 7. P. 903–926.

Ogol I. N. Invasion of the parasitoid *Elasmus schmitti* Ruschka, 1920 and its hyperparasitoid *Baryscapus elasmii* (Graham, 1986) (Hymenoptera: Eulophidae) in populations of *Polistes* wasps (Hymenoptera: Vespidae: Polistes) in Donetsk city. – For the presence of *Elasmus schmitti* and traces of its stay, more than 1000 nests of 3 species of *Polistes* wasps living in Donetsk were studied: *Polistes gallicus*, *P. nimpha* and *P. dominula*. Only the last of them was invaded by this parasitoid, and its occurrence and abundance were rather low. In all the cases noted, the hyperparasitoid *Baryscapus elasmii* was also found, which utilized most of the *E. schmitti* pupae. Only one generation of *E. schmitti* and *B. elasmii* developed within one *P. dominula* colony; the duration of preimaginal ontogenesis of both species was 15–20 days; wintering took place outside the nests. In general, the influence of eulophid on the *Polistes* wasps populations in Donetsk should be characterized as insignificant.

Key words: parasitic wasps, social wasps, phenology, life cycle.

УДК 595.733

© Е. Ю. Савченко, А. А. Стратийчук

**ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СТРЕКОЗ (INSECTA: ODONATA)
РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКА «ЗУЕВСКИЙ»***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: katrinsavchenko@mail.ru*

Савченко Е. Ю., Стратийчук А. А. Эколого-фаунистический обзор стрекоз (Insecta: Odonata) Республиканского ландшафтного парка «Зуевский». – В работе проанализирована таксономическая структура и биотопическое распределение стрекоз на территории РЛП «Зуевский», выявлен видовой состав, изучены экологические группы и сезонная динамика стрекоз на исследуемых участках.

Ключевые слова: стрекозы, экологические группы, сезонная динамика, РЛП «Зуевский».

Введение

Отряд Стрекозы (Odonata) – один из наиболее древних в классе насекомых, насчитывающий в мировой фауне более 6000 видов, и играющий существенную роль в круговороте веществ и энергии в биогеоценозах. Стрекоз широко используют в популяционных, этологических, физиологических и других биологических исследованиях в качестве модельных объектов. Особенности структуры и видового состава одонатокомплексов могут служить критерием биоиндикации качества природных вод и степени антропогенного воздействия на водные и околотоводные экосистемы [4].

Тем не менее, в настоящее время изученность одонатофауны остается крайне неравномерной в пределах разных районов исследования, поскольку стационарные наблюдения за динамикой видового состава и численностью отдельных видов стрекоз необходимы не только в антропогенно трансформированных районах, но и на сохранившихся целинных участках.

На настоящий момент в фауне Донбасса выявлено 58 видов стрекоз, из них в фауне г. Донецка отмечен 31 вид стрекоз [1]. Что касается природоохранных территорий Донбасса, на настоящий момент есть сведения по видовому составу одонатофауны БООПТ «Хомутовская степь – Меотида» и заповедника «Каменные могилы», где проводились целенаправленные исследования данной группы [2–4].

Целью нашей работы был сравнительный эколого-фаунистический анализ стрекоз РЛП «Зуевский»

Частично результаты исследований были опубликованы нами ранее [5].

Материал и методы исследования

Основой для данной работы послужили как личные сборы авторов, проведенные на территории РЛП «Зуевский», так и обработка материалов из фондов кафедры зоологии и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». В качестве стационаров для сбора материала нами были выбраны окрестности трех водохранилищ, расположенных либо на территории парка, либо в непосредственной близости – Ольховское, Зуевское и Ханженковское. Также обследовалась территория вдоль рек Ольховка и Крынка. Сбор материала проводился в 2017–2021 гг. (апрель–октябрь) по стандартным методикам.

Результаты и обсуждение

Всего в результате исследований в пределах территории Республиканского ландшафтного парка «Зуевский» нами было выявлено 28 видов стрекоз, относящихся к 16 родам и 8 семействам (табл. 1).

**Таксономическая структура одонатофауны Республиканского ландшафтного парка
«Зуевский»**

№	Семейство	Родов	Видов
1	Calopterygidae	1	1
2	Lestidae	2	4
3	Platycnemididae	1	1
4	Coenagrionidae	4	7
5	Gomphidae	1	1
6	Aeshnidae	2	5
7	Corduliidae	2	2
8	Libellulidae	3	7
	Всего	16	28

Преобладающими по числу видов являются семейства Coenagrionidae и Libellulidae.

В состав семейства Coenagrionidae входит 7 видов (633 экз.): *Coenagrion ornatum* Selys, 1850, *Coenagrion puella* Linnaeus, 1758, *Coenagrion pulchellum* Vander Linden, 1823, *Enallagma cyathigerum* Charpentier, 1840, *Ischnura elegans* Vander Linden, 1820, *Ischnura pumilio* Charpentier, 1825, *Nehalennia speciosa* Charpentier, 1840.

В составе семейства Libellulidae нами зарегистрировано также 7 видов (363 экз.): *Libellula depressa* Linnaeus, 1758, *Libellula fulva* (Müller, 1764), *Orthetrum albistylum* Selys, 1848, *Orthetrum brunneum* Fonscolombe, 1837, *Orthetrum cancellatum* Linnaeus, 1758, *Orthetrum coerulescens* Fabricius, 1798, *Sympetrum flaveolum* Linnaeus, 1758.

Семейство Aeshnidae в пределах района исследования насчитывает 5 видов (167 экз.): *Aeshna affinis* Vander Linden, 1823, *Aeshna mixta* Latreille, 1805, *Aeschna viridis* Eversmann, 1836, *Anax imperator* Leach, 1815, *Anax parthenope* Selys, 1839.

В числе представителей семейства Lestidae было выявлено 4 вида (370 экз.): *Lestes macrostigma* (Eversmann, 1836), *Lestes sponsa* Hansemann, 1823, *Sympecma fusca* Vander Linden, 1820, *Sympecma paedisca* Brauer, 1877.

В семейство Corduliidae на территории района исследований входит 2 вида (47 экз.): *Cordulia aenea* Linnaeus, 1758, *Somatochlora metallica* Vander Linden, 1825.

В нескольких семействах нами было выявлено всего по одному представителю. Семейство Calopterygidae (23 экз.): *Calopteryx splendens* Harris, 1782. Семейство Platycnemididae (64 экз.): *Platycnemis pennipes* Pallas, 1771. Семейство Gomphidae (37 экз.): *Lindenia tetraphylla* Vander Linden, 1825.

Стоит отметить, что наибольшим количеством видов представлены рода *Orthetrum* Newman, 1833 (4 вида), *Coenagrion* Kirby, 1890 (3 вида) и *Aeshna* Fabricius, 1775 (3 вида). Остальные рода насчитывали по одному–два вида.

Наибольшее количество видов стрекоз было зарегистрировано на Ольховском водохранилище и вдоль р. Ольховка – по 14 видов, вдоль р. Крынка выявлено 8 видов, на территории Зуевского и Ханженковского водохранилищ – 6 и 3 вида, соответственно.

В ходе анализа экологических групп стрекоз в одонатофауне РЛП «Зуевский» нами были выделены следующие группы: стагнофилы, облигатные стагнофилы, факультативные стагнофилы, реофилы, облигатные реофилы, факультативные реофилы, эврибионты.

1) Стагнофилы – виды, обитающие в стоячих водоемах. К этой группе относятся 9 видов (417 экз.): *C. puella*, *L. tetraphylla*, *A. imperator*, *A. parthenope*, *C. aenea*, *S. metallica*, *L. depressa*, *O. albistylum*, *O. cancellatum*.

2) Реофилы – виды, обитающие в проточных водах. В эту группу на территории парка отнесены 5 видов (271 экз.): *C. ornatum*, *N. speciosa*, *L. fulva*, *O. brunneum*, *O. coerulescens*.

3) Эврибионты – виды, обитающие и в стоячих, и в проточных водах. Нами было выявлено 2 вида, относящихся к данной группе (166 экз.): *P. pennipes*, *I. elegans*.

4) Облигатные стагнофилы – виды, предпочитающие стоячие и слабопроточные водоемы с илистым дном. Это преобладающая по количеству видов группа, к ней относится 10 видов (734 экз.): *L. macrostigma*, *L. sponsa*, *S. fusca*, *S. paedisca*, *C. pulchellum*, *E. cyathigerum*, *I. pumilio*, *A. affinis*, *A. mixta*, *A. viridis*.

5) Факультативные стагнофилы – представители данной группы обитают в стоячих или медленно текущих водоемах различных типов и размеров. К этой группе относятся 4 вида (196 экз.): *C. ornatum*, *L. fulva*, *O. brunneum*, *O. coerulescens*.

6) Облигатные реофилы – обитатели медленно текущих ручьев и мелких речек с берегами, поросшими растительностью. К этой группе относятся 2 вида (80 экз.): *C. splendens*, *S. flaveolum*.

7) Факультативные реофилы – предпочитают водоемы со слабым течением (преимущественно крупные озера и реки), в этой группе было выявлено 7 видов (370 экз.): *C. puella*, *L. tetraphylla*, *A. imperator*, *A. parthenope*, *L. depressa*, *O. albistylum*, *O. cancellatum*.

Таким образом, как по численности, так и по видовому богатству преобладает группа облигатных стагнофилов (рис. 1, 2), что объясняется физико-географическими особенностями района исследования.

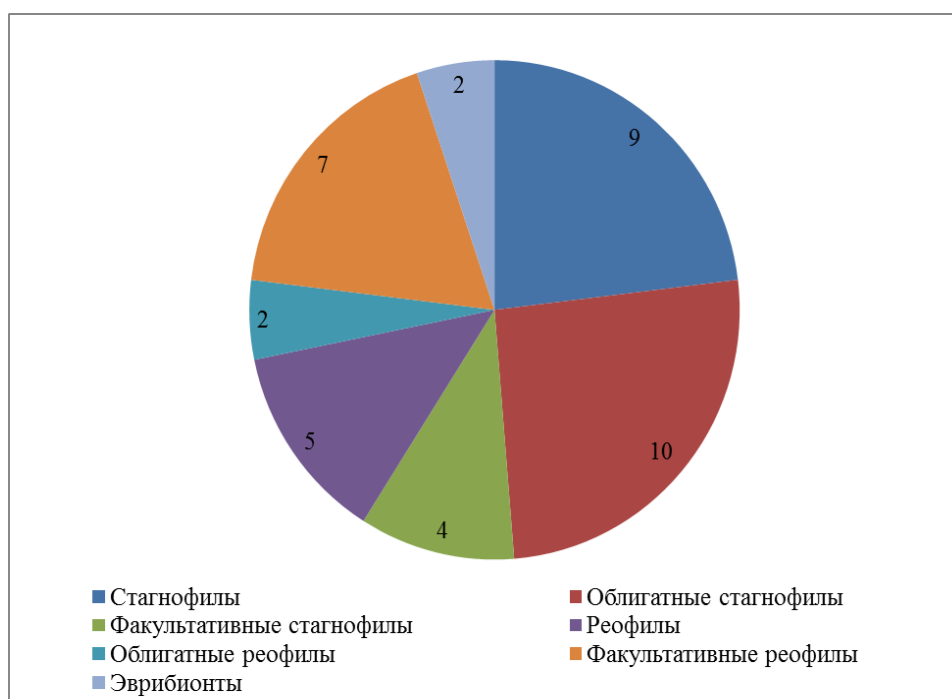


Рис. 1. Представленность экологических групп стрекоз РЛП «Зуевский» по количеству видов

Что касается сезонной динамики стрекоз, то первое резкое увеличение численности видов отмечено нами в июне. Это связано с тем, что к стрекозам уже летающих сезонных группировок добавляются некоторые виды, относящиеся к осенне-летней группировке. В этот период наблюдается оптимальное для большинства видов сочетание значений температуры (25–27 °С) и влажности (55–60 %). Начиная же с июля, наблюдается снижение численности видов, что обусловлено исчезновением ряда видов, входящих в состав весенне-летней и раннелетней группировок. Это обстоятельство объясняется очень высокими температурами (довольно часто она поднимается до 40 °С) и соответственно низкой влажностью (менее 45 %). Однако в августе наблюдается второй подъем численности, после чего происходит постепенное снижение сезонной активности. К концу октября – началу ноября лет стрекоз прекращается, что объясняется снижением среднесуточной температуры до 9–10 °С.

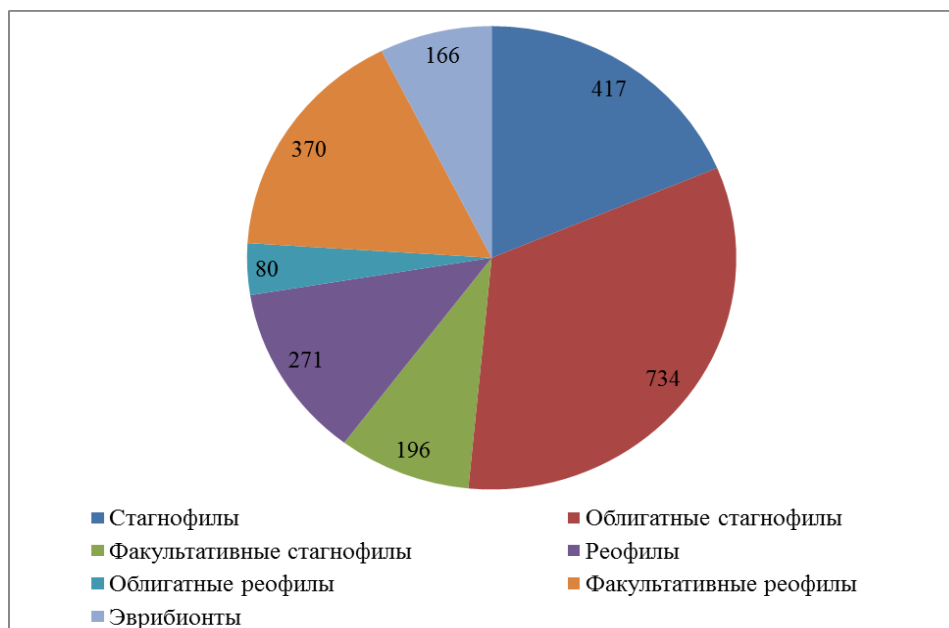


Рис. 2. Представленность экологических групп стрекоз РЛП «Зуевский» по количеству экземпляров

Выводы

В результате исследований на территории РЛП «Зуевский» было выявлено 28 видов стрекоз, относящихся к 16 родам и 8 семействам. Преобладающими по числу видов являются семейства *Coenagrionidae* и *Libellulidae*, включающие по 7 видов. Самым большим количеством видов представлен род *Orthetrum* (4 вида). Наибольшее количество видов стрекоз было выявлено на Ольховском водохранилище и в районе р. Ольховка – по 14 видов, на территории р. Крынки зарегистрировано 8 видов, на Зуевском водохранилище – 6 видов и на Ханженковском водохранилище – 3 вида. Анализ фауны стрекоз РЛП «Зуевский» позволил выделить такие экологические группы видов как: стагнофилы, облигатные стагнофилы, факультативные стагнофилы, реофилы, облигатные реофилы, факультативные реофилы, эврибионты. Как по численности, так и по видовому богатству преобладает группа облигатных стагнофилов, которая включает 10 видов (734 экз.). Изучение сезонной динамики стрекоз РЛП «Зуевский» показало, что стрекозы на территории парка наиболее активны с июня по август. Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, формируют представление об одонатокомплексах РЛП «Зуевский» и вносят определенный вклад в изучение фауны и экологии стрекоз природоохраненных территорий Донбасса.

Список литературы

1. Мартынов А. В. Фауна стрекоз (Odonata) Донецка // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах : Матер. V Междунар. науч. конф. Днепропетровск : Лира, 2009. С. 211–213.
2. Мартынов А. В. Отряд Odonata – Стрекозы // Ландшафты, растительный покров и животный мир регионального ландшафтного парка «Меотида». Донецк : «Ноулидж», 2010. С. 122–123.
3. Мартынов А. В., Мартынов В. В. Стрекозы заповедника «Каменные могилы» // Природный альманах. 2008. Т. 10, вып. 10. URL: http://www.dragonflyforall.narod.ru/articles/Martynov/Martynov_Matrynov_2008.pdf (дата обращения: 20.05.2017).
4. Мартынов В. В., Никулина Т. В. Стрекозы (Insecta, Odonata) заповедника «Хомутовская степь» (Донецкая область) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2, вып. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strekozy-insecta-odonata-zapovednika-homutovskaya-step-donetskaya-oblast/viewer> (дата обращения: 28.05.2017).
5. Савченко Е. Ю., Стратийчук А. А. Фауна и экология стрекоз (Insecta: Odonata)

Республиканского ландшафтного парка «Зуевский» // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. VII Междунар. науч. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2022. Т. 3. С. 160–162.

Savchenko E. Yu., Stratiychuk A. A. Ecological and faunal review of dragonflies (Insecta: Odonata) of the Republican landscape park «Zuevsky». – The paper analyzes the taxonomic structure and biotopic distribution of dragonflies on the territory of RLP «Zuyevsky», identifies the species composition, studies the ecological groups and the seasonal dynamics of dragonflies in the studied areas.

Key words: dragonflies, ecological groups, seasonal dynamics, RLP «Zuyevsky».

УДК 635.82

© С. И. Демченко

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ
ПРИ ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ ГРИБА
PLEUROTUS OSTREATUS (JACQ.: FR.) KUMM. Д-2.3**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: sdemch5@mail.ru

Демченко С. И. Эффективность деструкции твердых растительных отходов при глубинном культивировании гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. Д-2.3. – Результаты исследований позволили сравнить деструктивную активность гибридного штамма *Pleurotus ostreatus* Д-2.3 при глубинном культивировании на питательных средах с нативной и химически модифицированной подсолнечной лузгой. Оптимизирован состав питательных сред для получения физиологически активного посевного мицелия исследованного штамма гриба. Установлено, что предварительная обработка подсолнечной лузги методом щелочной делигнификации позволяет получить качественный субстрат для дальнейшего ферментативного гидролиза.

Ключевые слова: глубинное культивирование, подсолнечная лузга, *Pleurotus ostreatus*, ферментативный гидролиз, щелочная делигнификация.

Введение

В последние годы существенно возрос интерес к мицелиальным грибам как продуцентам пищевого и кормового белка. Грибные белки хорошо сбалансированы по аминокислотному составу и являются источником витаминов (в основном группы В и D). Они содержат меньшее количество нуклеиновых кислот (5–12 %), чем бактерии (8–14 %), что упрощает очистку белка для применения при производстве пищевых продуктов [5]. Показано также, что некоторые виды базидиальных ксилотрофов могут оказывать положительное воздействие на здоровье сельскохозяйственных животных и рыбы благодаря присутствию биоактивных и иммуностимулирующих соединений [4]. Грибная биомасса не уступает по кормовой ценности дрожжам, сравнительно легко переваривается, имеет волокнистую структуру, что облегчает ее отделение от культуральной жидкости и позволяет применять для получения текстурированных продуктов [11].

В разных странах, в том числе и в России, разрабатываются биотехнологии получения грибного протеина, основанные на процессах биоконверсии растительных субстратов. В отличие от дрожжей макро- и микромицеты синтезируют многочисленные ферменты и способны конвертировать в белковую биомассу крахмал, пектин, гемицеллюлозу, целлюлозу и даже лигнин без или после несложной предварительной обработки субстрата [11]. Сырьем для грибной биоконверсии могут служить различные растительные отходы пищевой и перерабатывающей промышленности. Основные требования к сырью – низкая стоимость, а также бесперебойность поставок его больших партий [1]. Одним из вариантов сырья может быть лузга подсолнечника, в значительных количествах накапливающаяся на российских маслоэкстракционных заводах. В настоящее время перерабатывается около 40 % образующейся лузги, остальные 60 % захоранивают или утилизируют путем сжигания. Использование подсолнечной лузги в качестве субстрата для получения белкового продукта на основе съедобных базидиомицетов позволит сократить количество образующихся отходов.

Целью настоящей работы было изучение деструктивной активности съедобного гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. при глубинном культивировании на питательных средах, содержащих нативную и модифицированную подсолнечную лузгу.

Материал и методы исследования

Использовали ранее изученный гибридный штамм съедобного гриба *P. ostreatus* Д-2.3, который является активным продуцентом ферментов целлюлозо- и лигнолитического действия при твердофазном культивировании на растительных отходах сельского хозяйства [2, 3]. Культивирование макромицета проводили в две последовательные стадии, выращивая его на посевной и ферментационных средах.

Для получения посевного материала использовали полусинтетическую глюкозопептонную питательную среду следующего состава (г/л): глюкоза – 10; пептон – 2,5; KH_2PO_4 – 0,6; K_2HPO_4 – 0,4; CaCl_2 – 0,05; NaCl – 0,5; дрожжевой экстракт – 2,0 (по сухому весу).

Для глубинного культивирования гибридного штамма вешенки обыкновенной использовали жидкую питательную среду, содержащую следующие компоненты: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – 2 г, KH_2PO_4 – 0,6 г, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ – 0,4 г, $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5 г, измельченная (до 0,6–0,8 мм) лузга семян подсолнечника (нативная или модифицированная) – 10 г, вода водопроводная – до 1000 мл. В качестве дополнительного источника углерода вносили 0,5 % ржаной муки грубого помола. Жидкие питательные среды стерилизовали в автоклаве при 0,6–0,8 атм. на протяжении 1 ч.

Модификация субстрата заключалась в одностадийной химической обработке лузги семян подсолнечника 1 %-м раствором гидроокиси натрия при модуле 1:10. Процесс проводили при 94–96 °С в течение 1 ч. Предварительно обработанную подсолнечную лузгу отжимали от раствора щелочи на фильтр-прессе и промывали водой до нейтральной реакции. Полученный продукт щелочной делигнификации лузги семян подсолнечника использовали как субстрат для ферментативного гидролиза.

Для выращивания посевного материала использовали колбы Эрленмейера объемом 250 мл с 50 мл питательной среды. На дно колб предварительно помещали стеклянные бусы диаметром 7–10 мм. Засев колб осуществляли агаровыми блоками диаметром 7 мм, вырезанными пробойным сверлом из краевой зоны роста семисуточной поверхностной культуры, выращенной на картофельно-глюкозном агаре [10] в чашках Петри. Посевной материал выращивали в стационарных условиях в течение 7 суток при температуре 26 °С. Выращенный поверхностным способом посевной материал измельчали с помощью бус путем встряхивания колб 20 мин при 180 об./мин до образования однородной суспензии. Полученную взвесь фрагментов мицелия использовали в качестве инокулюма на стадии глубинного культивирования. Посевной материал вносили стерильно при помощи градуированной пипетки в количестве 10 % от объема среды в колбе.

Глубинное культивирование проводили в колбах Эрленмейера объемом 750 мл со 100 мл питательной среды на роторной качалке (230 об./мин) при температуре 26 °С. Время культивирования гриба составило 84 ч.

После окончания культивирования мицелиально-субстратный комплекс отделяли от культуральной жидкости фильтрованием через фильтровальную бумагу («ФС», Россия). В культуральном фильтрате определяли активность внеклеточной лакказы, используя спектрофотометрический метод (субстратом для окисления служил 10 мМ раствор пирокатехина в 0,1 М Na-ацетатном буфере (pH 5,4)) [7] и целлюлазную активность, используя колориметрический метод, основанный на определении редуцирующих сахаров, образующихся при разложении фильтровальной бумаги комплексом целлюлозолитических ферментов (ФБ-активность) [7]. Концентрацию белка в мицелиально-субстратном комплексе определяли по методу Брэдфорд [12]. Содержание целлюлозы и лигнина в растительных отходах определяли по методу Х. Н. Починка [8].

Повторность всех проведенных опытов была трехкратной. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при 5 %-м уровне значимости с помощью дисперсионного анализа и множественного сравнения средних арифметических значений по критерию Даннета и Дункана [6, 9].

Результаты и обсуждение

Полнота утилизации субстрата свидетельствует об активном метаболизме продуцента, а также о степени пригодности биологического объекта для эффективной микробиологической переработки растительных отходов [11]. Поэтому нами была изучена динамика интенсивности трансформации лигноцеллюлозного комплекса нативной и трансформированной подсолнечной лузги в условиях глубинного культивирования штамма базидиального ксилотрофа *P. ostreatus* Д-2.3 (рис. 1, 2).

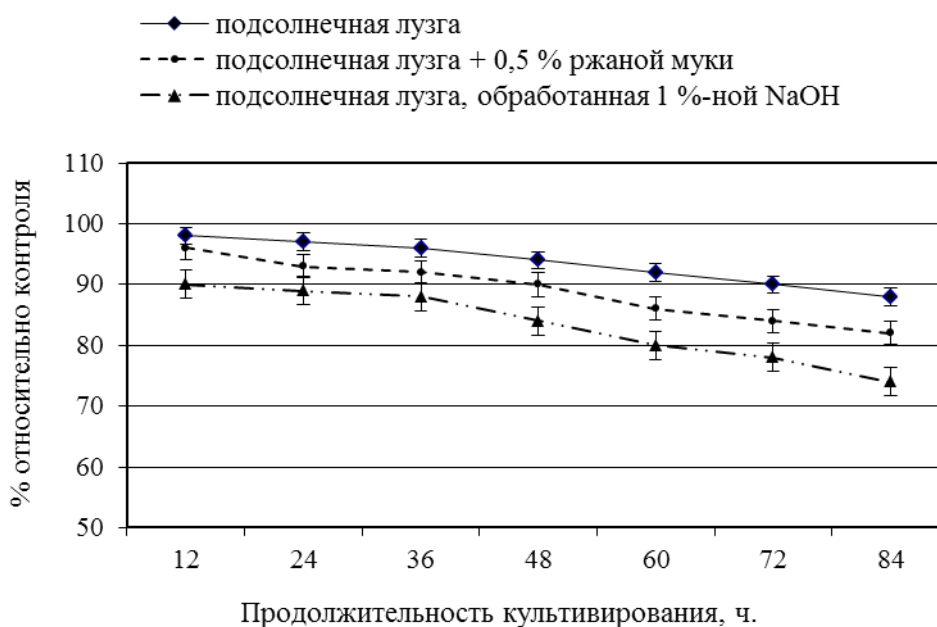


Рис. 1. Динамика содержания целлюлозы в нативной и модифицированной подсолнечной лузге при глубинном культивировании *P. ostreatus* Д-2.3

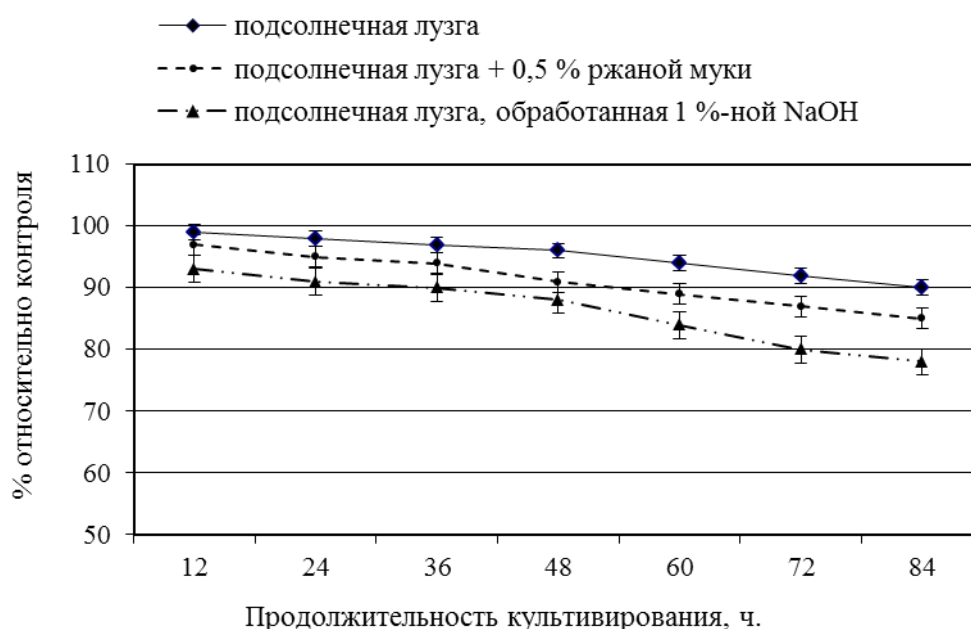


Рис. 2. Динамика содержания лигнина в нативной и модифицированной подсолнечной лузге при глубинном культивировании *P. ostreatus* Д-2.3

Во время роста на питательной среде с нативной подсолнечной лузгой исследованный штамм дереворазрушающего гриба активно утилизировал как целлюлозу, так и лигнин. За 84 ч роста деградации подверглось до 10 % лигнина и 12 % целлюлозы субстрата. При внесении в питательную среду 5 % ржаной муки наблюдалось увеличение интенсивности

разрушения целлюлозы и лигнина. К 84 ч роста гриба в глубинной культуре усвоение целлюлозы составило 18 %, лигнина – 15 %.

Повышению ферментативной гидролизуемости полисахаридов и лигнина лигноцеллюлозного субстрата способствовала предварительная его модификация. Потери целлюлозы и лигнина при выращивании вешенки обыкновенной в течение 84 ч на частично делигнифицированной щелочью подсолнечной лузге составили 26 и 22 % соответственно.

При глубинном культивировании *P. ostreatus* Д-2.3 на питательной среде с нативной подсолнечной лузгой наблюдался синтез целлюлозолитических ферментов, наибольшая активность которых выявлена к 36 ч роста гриба (рис. 3). При внесении в питательную среду инициатора роста – ржаной муки – ФБ-целлюлазная активность вешенки обыкновенной не изменилась. Хотя деградация целлюлозы в среде с ржаной мукой составила 18 % против 12 % в среде без нее. Самая высокая активность внеклеточных целлюлаз обнаружена на среде с подсолнечной лузгой, модифицированной щелочью. Это, по-видимому, связано с тем, что в процессе щелочной делигнификации субстрата происходит омыление межмолекулярных эфирных связей, которыми «прошиты» гемицеллюлозы и лигнин, в результате чего происходит расщепление этих связей и осуществляется воздействие щелочи на микрофибриллы целлюлозы. Степень полимеризации последней при этом снижается и происходит ее набухание, что приводит к увеличению внутренней поверхности целлюлозы и делает ее более доступной для действия ферментов.

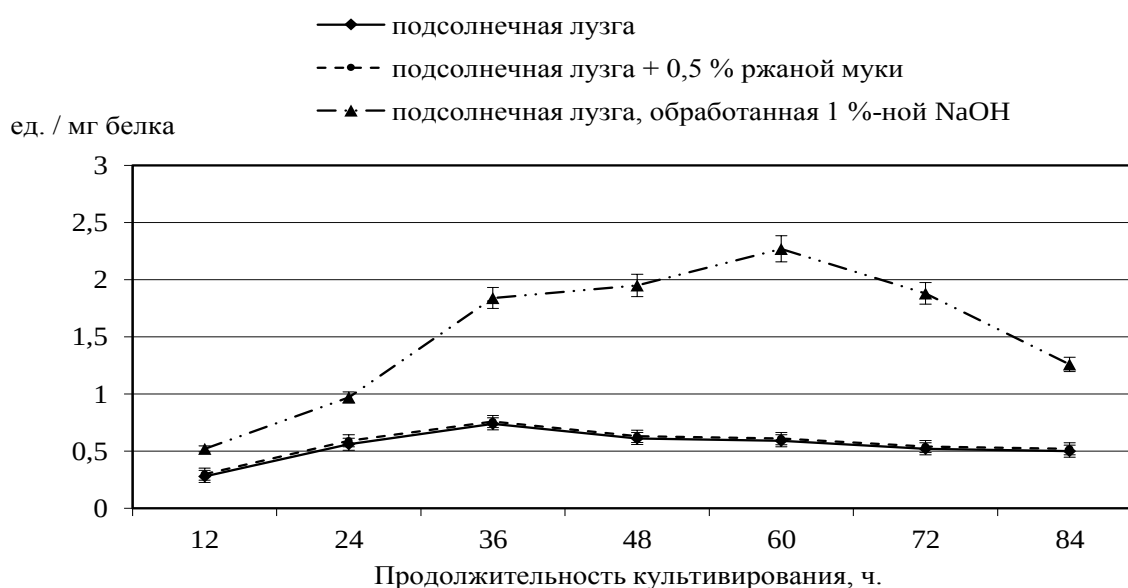


Рис. 3. ФБ-целлюлазная активность *P. ostreatus* Д-2.3 в условиях глубинной ферментации нативной и модифицированной лузги семян подсолнечника

В условиях глубинной ферментации исследованный штамм *P. ostreatus* Д-2.3 обнаружил различные уровни лакказной активности на питательных средах с нативной и модифицированной подсолнечной лузгой (рис. 4).

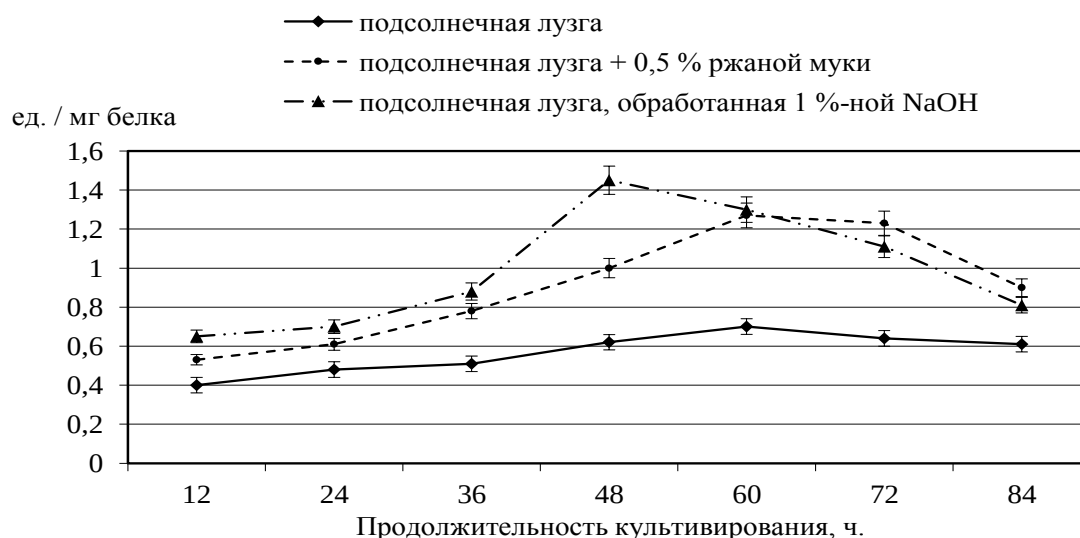


Рис. 4. Лакказная активность *P. ostreatus* Д-2.3 в условиях глубинной ферментации нативной и модифицированной лузги семян подсолнечника

Как видно на рис. 4, наиболее выраженную активность внеклеточной лакказы штамм съедобного гриба *P. ostreatus* Д-2.3 продемонстрировал на питательной среде с модифицированной лузгой семян подсолнечника. Наибольший пик активности этого фермента обнаружен через 48 ч после начала культивирования. Увеличение оксидазной активности у исследованного штамма на питательной среде с более доступными фенольными компонентами может свидетельствовать о выработке у него индуцибельных форм оксидазных ферментов. Кроме того, вероятно, продукты щелочной делигнификации растительного субстрата могут содержать фенольные компоненты, являющиеся индукторами биосинтеза ферментов, в частности лакказы.

Дополнительное внесение в среду легкодоступного источника углерода также способствовало повышению активности внеклеточной лакказы, но в меньшей степени, чем на среде с модифицированной подсолнечной лузгой. На питательной среде с нативной подсолнечной лузгой и ржаной мукой лакказная активность гриба достигла максимальных величин к 60–72 ч культивирования.

На заключительном этапе наших исследований была определена степень биоконверсии нативной и модифицированной лузги семян подсолнечника, которую рассчитывали с учетом убыли массы субстрата и содержания белка в глубинной культуре.

Из анализа данных, приведенных в табл. 1, видно, что степень биоконверсии нативной лузги семян подсолнечника увеличивалась примерно в 1,6 раза при внесении в питательную среду дополнительного источника углерода – 0,5 % ржаной муки.

Таблица 1

Степень биоконверсии нативной и модифицированной лузги семян подсолнечника при глубинном культивировании *P. ostreatus* Д-2.3

Вид растительного субстрата	Суммарный белок, % а.с.м. продукта	Степень биоконверсии субстрата, % от исходного сырья
Нативная лузга семян подсолнечника	7,12 ± 0,54	29,18 ± 0,15
Нативная лузга семян подсолнечника + 0,5 % ржаной муки	11,28 ± 0,29	31,25 ± 0,96
Лузга семян подсолнечника, обработанная 0,1 % раствором NaOH	12,24 ± 0,45	43,14 ± 1,12

Предварительная щелочная делигнификация лигноуглеводного компонента питательной среды также достоверно увеличивала степень биоконверсии подсолнечной лузги в условиях глубинной ферментации. При этом наибольшее накопление белка в мицелиально-субстратном комплексе наблюдалось на питательной среде с модифицированной лузгой семян подсолнечника.

Выводы

В условиях глубинного культивирования гриб *P. ostreatus* Д-2.3 способен к активной деструкции основных компонентов подсолнечной лузги – лигнина и целлюлозы. Деструктивная активность исследованного ксилотрофа увеличивается в результате предварительной щелочной делигнификации растительного субстрата и при внесении в питательную среду дополнительного источника углерода – 5 % ржаной муки. Указанные факты свидетельствуют о целесообразности введения химически модифицированной лузги семян подсолнечника в питательные среды для глубинного культивирования исследованного штамма базидиального ксилотрофа на стадии получения посевного материала. Посевной материал, полученный на вышеуказанных средах, содержит в себе уже адаптированные к лузге семян подсолнечника глубинные культуры и активированные ферментные комплексы штамма-продуцента. Поэтому следует ожидать, что переработка того же растительного сырья на стадии твердофазной ферментации будет проходить более эффективно и увеличится выход кормового продукта, обогащенного белком. Полученные результаты исследований можно рекомендовать при разработке способов подготовки лигноцеллюлозного сырья для оптимизации процесса биоконверсии дереворазрушающими грибами.

Список литературы

1. Биоконверсия отходов агропромышленного комплекса : моногр. / Под ред. В. Ю. Барштейна. Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2016. 88 с.
2. Демченко С. И. Перспективы использования съедобных базидиальных ксилотрофов в биоконверсии растительных отходов сельского хозяйства // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 95–102.
3. Демченко С. И., Загнитко Ю. П., Дутик Д. А., Устинова Д. А. Деструктивная активность базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 88–94.
4. Дудка И. А., Бисько Н. А., Билай В. Т. Культивирование съедобных грибов. К. : Урожай, 1992. 160 с.
5. Киселева О. В., Тарнопольская В. В., Миронов П. В. Биотехнология пищевого белка : учеб. пособие. Красноярск : Изд. СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. 92 с.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 350 с.
7. Методы экспериментальной микологии : справ. / Под ред. В. И. Билай. К. : Наук. думка, 1982. 550 с.
8. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. К. : Наук. думка, 1976. 336 с.
9. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассиопея, 1999. 201 с.
10. Семенов С. М. Лабораторные среды для актиномицетов и грибов : справ. М. : Агропромиздат, 1990. 240 с.
11. Синицын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : уч. пособие. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
12. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.

Demchenko S. I. The efficiency of destruction of solid plant waste during deep cultivation of the fungus *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. D-2.3. – The results of the research allowed us to compare the destructive activity of the hybrid strain *Pleurotus ostreatus* D-2.3 during deep cultivation on nutrient media with native and chemically modified sunflower husk. The composition of nutrient media for obtaining physiologically active seed mycelium of the studied fungus strain has been optimized. It has been established that the pretreatment of sunflower husks by the method of alkaline delignification makes it possible to obtain a high-quality substrate for further enzymatic hydrolysis.

Key words: deep cultivation, sunflower husk, *Pleurotus ostreatus*, enzymatic hydrolysis, alkaline delignification.

© Ю. П. Загнитко, А.П. Палагута

ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИТРУСОВОГО ПЕКТИНА КАК ИНДУКТОРА ФЕРМЕНТОВ ПЕКТОЛИТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ БАЗИДИАЛЬНЫХ КСИЛОТРОФОВ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: upzagnitko@mail.ru

Загнитко Ю. П., Палагута А. П. Оптимизация питательной среды с использованием цитрусового пектина как индуктора ферментов пектолитического действия при культивировании базидиальных ксилотрофов. – Изучена динамика пектолитической активности съедобных базидиомицетов на питательной среде с добавлением цитрусового пектина. К активным продуцентам ферментов пектолитического действия были отнесены все исследуемые грибы – *Pleurotus eryngii* 515, *Lentinus edodes* 480 и *Pleurotus ostreatus* Д-2.3, активность экзополигалактуроназы которых превысила показатели контроля в 1,6–2,4 раза при жидкофазном культивировании на средах с различными концентрациями цитрусового пектина. Грибы, выращенные на среде с добавлением цитрусового пектина в концентрации 30 %, наиболее активно синтезируют ферменты пектолитического действия

Ключевые слова: экзополигалактуроназа, базидиальные ксилотрофы, цитрусовый пектин, концентрация.

Введение

Использование высших базидиальных грибов включает производство аминокислот, ферментов, ферментированной пищи, лекарств, гербицидов, пестицидов, противораковых средств, витаминов и др. В современной биотехнологии грибы рассматриваются как перспективные продуценты многих дефицитных белков животного, растительного или бактериального происхождения. Ферменты пектолитического действия широко применяются в фармацевтической промышленности для увеличения выхода биологически активных веществ из тканей растений, в текстильной промышленности при обработке льна, в консервной и винодельческой отраслях, в целлюлозно-бумажной при изготовлении высококачественной бумаги, а также в клеточной биотехнологии при получении культур протопластов [1, 4].

В настоящее время исследователями проведен ряд экспериментов, подтверждающих влияние на биосинтез ферментов индукторов (специфических субстратов) и репрессоров (продуктов жизнедеятельности организма-продуцента). Они воздействуют на участки молекул ДНК, в которых заложены матрицы для биосинтеза ферментов. Присутствие индуктора биосинтеза пектиназ в качестве источника углерода в среде необходимо, в то время как репрессор по возможности должен быть удален [10]. Базидиальные ксилотрофы способны утилизировать самые разнообразные углеродсодержащие соединения. Источниками углерода могут быть такие пектиновые вещества, как свекловичный жом (СЖ) [5], виноградные выжимки (ВВ) [8], стебли хлопчатника [2], тростниковая меласса, кофейный шрот и другие отходы переработки сельскохозяйственных продуктов [6]. Потребление грибом различных источников азота также приводит к повышению биосинтеза ферментов пектолитического действия. В качестве неорганических источников азота применяют сернокислый аммоний, аммонийный азот, а в качестве органических источников – пептон, кукурузный экстракт, солодовые ростки [6]. На активность выделения ферментов оказывает влияние не только состав питательной среды, но также и условия культивирования, например, pH среды, который лимитирует рост культуры или воздействует на каталитическую активность фермента [9].

Цель исследования – оптимизация питательной среды с использованием цитрусового пектина как индуктора ферментов пектолитического действия при культивировании съедобных базидиальных ксилотрофов.

Материал и методы исследования

Объектами исследования были культуры базидиальных ксилотрофов из коллекции кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ»: *Pleurotus eryngii* 515, *Lentinus edodes* 480, *Pleurotus ostreatus* Д-2.3.

Для исследования пектолитической активности культуральных фильтратов штаммы выращивали на пектин-пептонной среде следующего состава (г/л): цитрусовый пектин – 10, 20, 30; пептон – 3; K_2HPO_4 – 0,4; KH_2PO_4 – 0,6; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,5; $ZnSO_4 \times 7H_2O$ – 0,001; $CaCl_2$ – 0,05. Культивирование проводили в колбах Эрленмейера на 250 мл, содержащих 50 мл питательной среды, при оптимальной температуре для каждого гриба. Кислотность питательной среды доводили до pH 4,2 при помощи 10 % раствора HCl. Активность экзополигалактуроназы определяли в культуральной жидкости на 5-е, 10-е, 15-е, 20-е, 25-е, 30-е и 35-е сутки культивирования грибов. Активность пектолитических ферментов определяли по методу Кертесза [7]. За единицу пектолитической активности принимали такое количество фермента, которое при гидролизе пектина образовывало 1 μ М галактуроновой кислоты за 1 мин в условиях опыта (pH = 4, t = 28 °C). pH культурального фильтрата определяли потенциометрически на pH-метре AI-123.

Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по схеме двухфакторного дисперсионного анализа по специально разработанной программе [3]. Сравнение средних арифметических осуществляли по методу Дункана [3].

Результаты и обсуждение

Для увеличения выхода ферментов пектолитического действия была оптимизирована питательная среда для жидкофазного культивирования активных продуцентов экзополигалактуроназы – *Lentinus edodes* 480, *Pleurotus ostreatus* Д-2.3, *Pleurotus eryngii* 515. Для этой цели пектин, как источник углерода, пектиновых веществ и активатор синтеза экзоферментов пектолитического действия, был заменен цитрусовым пектином в концентрации 10, 20 и 30 %.

Результаты изучения динамики пектолитической активности культуральной жидкости исследованных базидиальных ксилотрофов при культивировании на питательных средах с цитрусовым пектином представлены на рис. 1–3. При исследовании динамики исследуемой ферментативной активности культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями цитрусового пектина показано (рис. 1), что в начале культивирования (5-е сутки) содержание ферментов пектолитического действия является максимальным для всех исследованных сред. Практически на протяжении всего времени эксперимента (исключение составили 10-е сутки роста) максимальные значения экзополигалактуроназной активности отмечены на среде с содержанием цитрусового пектина 30 %. На 10-е сутки роста максимальные значения активности ферментов пектолитического действия зафиксированы на среде с 10 %-ным содержанием цитрусового пектина.

Культура гриба *L. edodes* 480 постепенно синтезировала ферменты пектолитического действия и достигла своего постоянного значения на 25–35-е сутки эксперимента на всех исследуемых средах.

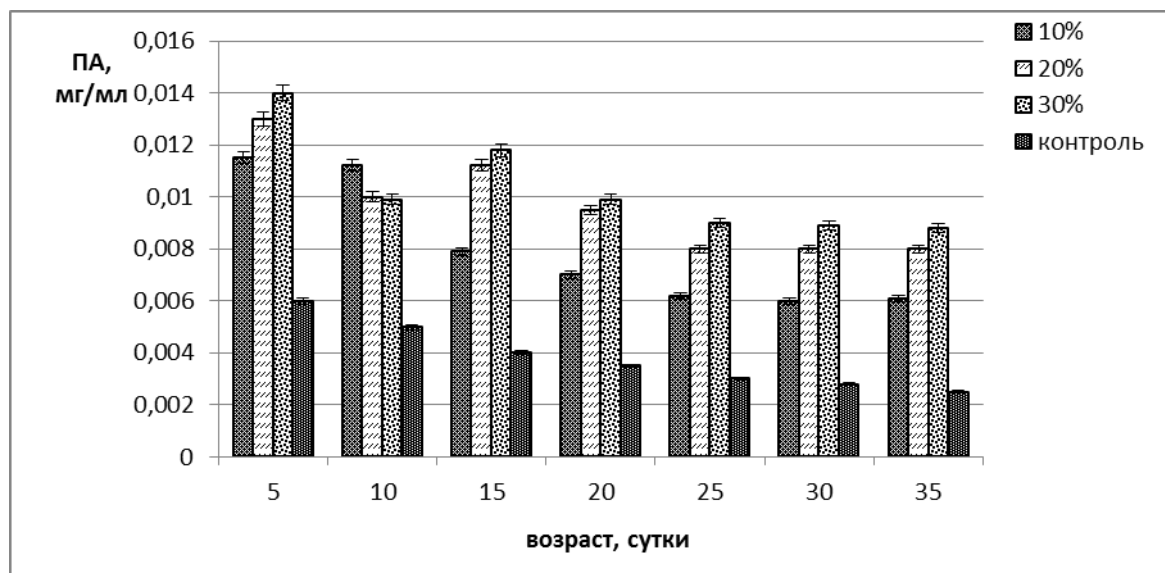


Рис. 1. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями цитрусового пектина

Изучение динамики изменения активности экзополигалактуроназы культуральной жидкости *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями цитрусового пектина показало (рис. 2), что на протяжении всего эксперимента гриб лучше всего синтезировал экзопротеины на среде с 30 %-ным содержанием цитрусового пектина.

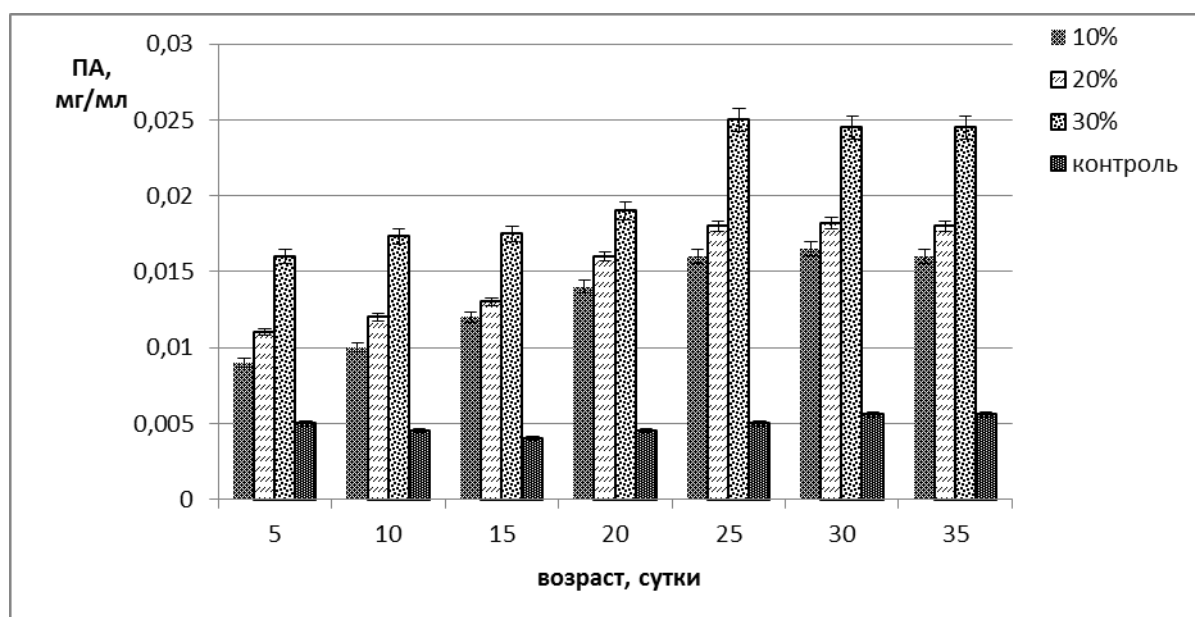


Рис. 2. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями цитрусового пектина

Исследуемая активность гриба *P. ostreatus* Д-2.3 имела синусоидальный характер с максимальными показателями на 5–10-е и 30-е сутки проведения эксперимента.

На всех исследованных питательных средах с различными концентрациями цитрусового пектина изменение активности экзополигалактуроназы культуральной жидкости *P. ostreatus* Д-2.3 проходило однотипно (рис. 3) – минимальные показатели отмечены для 10 %-ной концентрации, а достоверно максимальные значения активности ферментов пектолитического действия зафиксированы на среде с содержанием цитрусового пектина 30 % на протяжении всего культивирования.

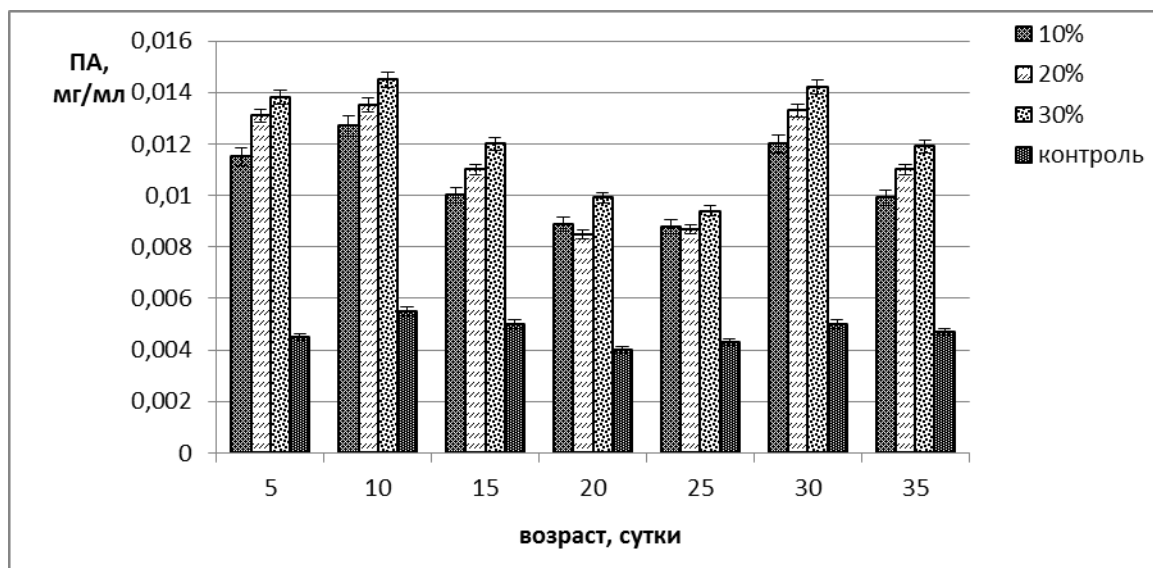


Рис. 3. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *P. ostreatus* Д-2.3 на среде с различными концентрациями цитрусового пектина

Достоверно максимальные показатели активности экзополигалактуроназы культуральной жидкости гриба *P. ostreatus* Д-2.3 отмечены на 10-е сутки проведения эксперимента.

Важно отметить, что при изучении динамики накопления биомассы на средах с различными концентрациями цитрусового пектина для всех исследованных культур показаны подобные результаты. Достоверно минимальные значения накопления сухой биомассы отмечены на минимальной (10 %) концентрации цитрусового пектина, а максимальные показатели накопления биомассы зафиксированы на средах с 30 %-ным содержанием индукторов ферментов пектолитического действия, достоверных отличий между показателями данных концентраций не выявлено.

Исследуемые культуры базидиальных ксилотрофов на всех исследуемых средах с различными концентрациями цитрусового пектина подщелачивали культуральную жидкость в процессе культивирования, возможно, этим и обусловлен активный синтез экзополигалактуроназы грибами. Можно предположить, что ферменты пектолитического действия, синтезируемые исследованными культурами, входят в комплекс нейтральных и щелочных гидролаз.

Таким образом, к активным продуцентам ферментов пектолитического действия были отнесены все исследуемые съедобные базидиомицеты – *P. eryngii* 515, *P. ostreatus* Д-2.3 и *L. edodes* 480. Установлено, что грибы, выращенные на среде с добавлением цитрусового пектина в концентрации 30 %, наиболее активно синтезируют ферменты пектолитического действия, чем на средах с меньшими концентрациями.

Выводы

Добавление в питательную среду цитрусового пектина оказывает стимулирующее действие на синтез ферментов пектолитического действия у всех исследованных культур съедобных базидиальных ксилотрофов. Культуры, выращенные на среде с добавлением цитрусового пектина в концентрации 30 %, наиболее активно синтезируют экзополигалактуроназу.

Список литературы

1. Блиева Р. К. Изучение биосинтеза пектинрасщепляющих ферментов при глубинном культивировании плесневых грибов из рода *Aspergillus*: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1967. 25 с.

2. Борщева Ю. А., Курбатова Е. И., Соколова Е. Н. Перспективы использования отходов агропромышленного комплекса для культивирования мутантного штамма *Aspergillus foetidus* – продуцента комплекса гидролаз // Заметки ученого. 2015. № 3 (3). С. 21–25.
3. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.
4. Соколова Е. Н. Разработка биотехнологии получения препарата пектиназы на основе селектированного штамма *Aspergillus foetidus* 379-К : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2008. 28 с.
5. Спивак В. В., Вратский А. М. Современные направления использования и утилизации свекловичного жома // Сахар. 2011. № 9. С. 60–64.
6. Akinyele B., Olaniyi O., Arotupin D. Bioconversion of selected agricultural wastes and associated enzymes by *Volvariella volvacea* : An edible mushroom // Res. Journal Microbiol. 2010. Vol. 6. P. 63–70.
7. Kertesz Z. I. Methods in enzymology. New York : Academic Press, 1955. Vol. 2. P. 162–164.
8. Kiro M. The effects of different carbon sources on biosynthesis of pectinolytic enzymes by *Aspergillus niger* // Applied Technologies & Innovations. 2010. Vol. 3, № 3. P. 23–29.
9. Noor A. F., Tajul A. Y. Producing high quality edible oil by using eco-friendly technology: a review // Advance Journal of Food Science and Technology. 2011. Vol. 3, № 4. P. 317–326.
10. Whitaker J. R. Microbial pectolytic enzymes / Fogarty W. M., Kelly C. T. Microbial Enzymes and Biotechnology. London & New York : Elsevier Applied Science, 1991. P. 133–175.

Zagnitko Yu. P., Palaguta A. P. Optimization of the nutrient medium using citrus pectin as an inducer of pectolytic enzymes in the cultivation of basidial xylotrophs. – The dynamics of the pectolytic activity of edible basidial xylotrophs on a nutrient medium with the addition of citrus pectin has been studied. All the studied fungi – *Pleurotus eryngii* 515, *Lentinus edodes* 480 and *Pleurotus ostreatus* D-2.3, whose exopolygalacturonase activity exceeded the control parameters by 1,6–2,4 times during liquid-phase cultivation on media with different concentrations of citrus pectin, were attributed to active producers of pectolytic enzymes. Mushrooms grown on a medium with the addition of citrus pectin at a concentration of 30 % most actively synthesize enzymes of pectolytic action.

Key words: exopolygalacturonase, basidial xylotrophs, citrus pectin, concentration.

© О. В. Фрунзе

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ИОНАМИ ХРОМА

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: hromyh82@mail.ru

Фрунзе О. В. Изменение морфометрических показателей декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами хрома. – Исследовали влияние загрязнения почвы ионами хрома на длину корня и стебля, сырую и сухую массу проростков декоративных травянистых растений. Проведенные исследования показали, что изменение ростовых процессов зависит как от концентрации ионов хрома в почве, так и от видоспецифических свойств растений. На длину корня и стебля проростков *Brassica napus* L. и *Ricinus communis* L. загрязнение почвы хромом не оказывает негативного влияния. На длину корня и надземной части проростков *Phacelia tanacetifolia* Benth. загрязнение почвы ионами хрома оказывает угнетающий эффект. Внесение в почву ионов хрома не оказывает негативного влияния на накопление сырой и сухой массы проростками *B. napus* и *R. communis*, в то время как даже незначительные концентрации поллютанта вызывают уменьшение биомассы у проростков *Ph. tanacetifolia*.

Ключевые слова: хром, декоративные травянистые растения, морфометрические показатели.

Введение

Загрязнение почв техногенного региона тяжелыми металлами становится серьезной экологической проблемой во всем мире. Интенсивное развитие промышленности приводит к увеличению загрязнения почв городской среды хромом (Cr). Хром – это тяжелый металл, который встречается в природной среде и занимает 17-е место по распространенности в земной коре [2, 4]. Хотя хром, как микроэлемент, в малых количествах необходим растениям и животным, но при более высоких концентрациях он превращается в один из основных загрязнителей окружающей среды. Природные месторождения, а также различные виды антропогенной деятельности являются основными источниками поступления хрома в почву, воздух и воду, что может привести к загрязнению ионами хрома всей биосферы Земли [1, 3]. Ионы хрома, попадая в источники питьевой воды, продукты сельского хозяйства, легко проникают в пищевые цепи и, напрямую или косвенно, влияют на жизнедеятельность всех живых организмов [3–9]. Также, хром, попадая в организм человека при вдыхании или потреблении с пищей и водой, оказывает канцерогенное влияние.

Для растений токсичное влияние ионов хрома выражается в торможении прорастания семян, угнетении роста корневых волосков и корней в целом, уменьшении биомассы, угнетении роста надземной части растений, нарушении процессов фотосинтеза, повреждении мембран. Высокие концентрации хрома вызывают хлороз и некроз листьев, приводят к уменьшению урожая зерновых культур и, в конечном счете, к гибели растений [2, 10].

Целью нашей работы было изучение изменения морфометрических показателей некоторых видов декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами хрома и выявление видов растений, устойчивых к загрязнению почвы хромом, которые можно использовать для озеленения урбанизированных территорий вокруг промышленных объектов.

Материал и методы исследования

При проведении эксперимента в качестве объектов исследования были использованы травянистые декоративные растения: клещевина обыкновенная (*Ricinus communis* L.), рапс обыкновенный (*Brassica napus* L.), фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Benth.).

Исследования по влиянию загрязнения почвы ионами хрома на декоративные травянистые растения проводились по схеме полного однофакторного пятиуровневого эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

Схема эксперимента влияния загрязнения почвы ионами хрома на некоторые виды декоративных травянистых растений

Вариант загрязнения	Концентрации загрязнителя $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, мг/кг (в перерасчете на Pb^{2+})
1	0 (контроль)
2	1,5 (0,5 ПДК)
3	3 (1 ПДК)
4	4,5 (1,5 ПДК)
5	6 (2 ПДК)

В качестве загрязнителя использовался нитрат хрома (III) по стехиометрическому отношению. Концентрации хрома составляли 0, 0,5 ПДК, 1 ПДК, 1,5 ПДК, 2 ПДК.

Семена растений проращивались согласно их биологическим особенностям. Выращивание велось на протяжении тридцати дней, продолжительности светового дня 14 часов, температуре 20–22 °С и влажности почвы около 70 % полной влажности. В каждый сосуд вносилось по 350 г почвы, просеянной через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм, в который предварительно вносился нитрат хрома (III) согласно схеме эксперимента.

При снятии результатов у проростков измеряли длину надземной части, длину корней, сырую и сухую массу. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что загрязнение почвы ионами хрома не оказывает негативного влияния на рост корней проростков *R. communis* (рис. 1).

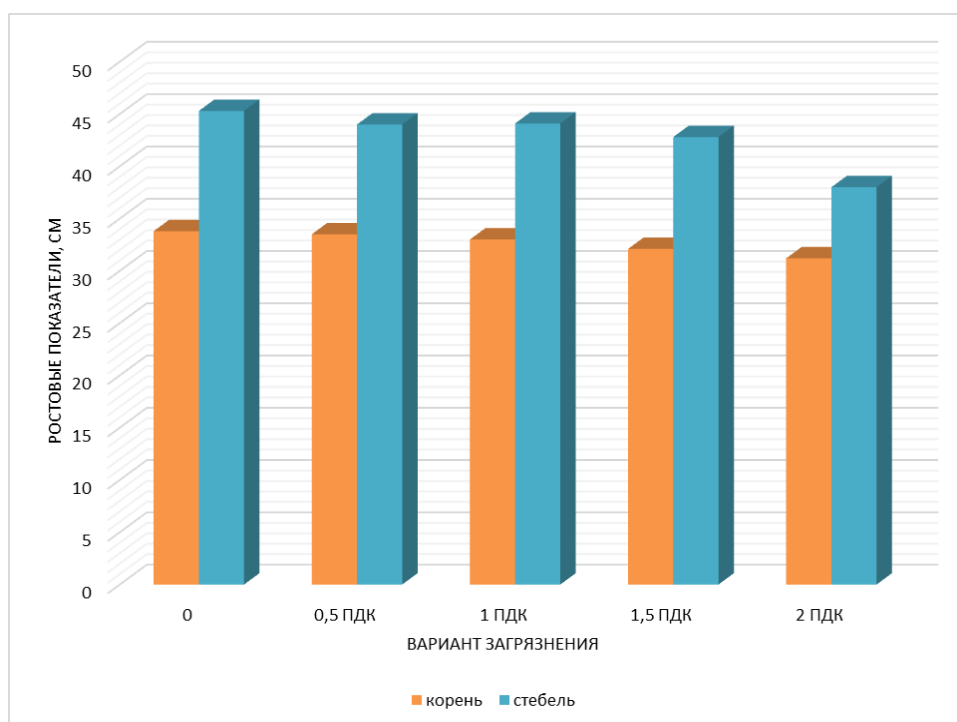


Рис. 1. Влияние загрязнения почвы ионами хрома на ростовые показатели проростков *Ricinus communis* L.

Так, при внесении в почву ионов хрома в концентрации 0,5 ПДК, ростовые показатели корней остаются на уровне контрольных растений, при внесении в почву 1 ПДК хрома показатели роста корней также остаются на уровне контроля. При внесении в почву 1,5 ПДК хрома прослеживается некоторое снижение роста корня, но данные изменения статистически недостоверны. И только при внесении в почву загрязнителя в концентрации 2 ПДК прослеживается уменьшение роста корня на 8 %, в сравнении с контрольными растениями.

Аналогичная тенденция отмечена и при изучении влияния ионов хрома на надземную часть проростков *R. communis*. Так, при внесении в почву 0,5 ПДК хрома длина стебля проростков уменьшается на 2 %, но данные изменения статистически недостоверны. Внесение в почву 1 ПДК хрома не оказывает негативного влияния на рост надземной части проростков, данный показатель остается на уровне контроля. При внесении в почву 1,5 ПДК ионов хрома прослеживается уменьшение длины стебля проростков *R. communis* на 3,5 % в сравнении с контролем, а при дальнейшем увеличении концентрации хрома до 2 ПДК ростовые показатели надземной части растений уменьшаются на 16 %.

Загрязнение почвы ионами хрома в концентрации 0,5 ПДК не оказывает негативного влияния на рост корня проростков *B. napus*, а наоборот, данный показатель увеличивается на 2,6 % (рис. 2). При внесении в почву 1 ПДК хрома ростовые показатели корней остаются на уровне контроля. Внесение в почву 1,5 ПДК и 2 ПДК хрома не вызывает негативного эффекта, во всех вариантах загрязнения длина корня проростков практически не отличается от длины корня растений, выращенных на незагрязненной почве.

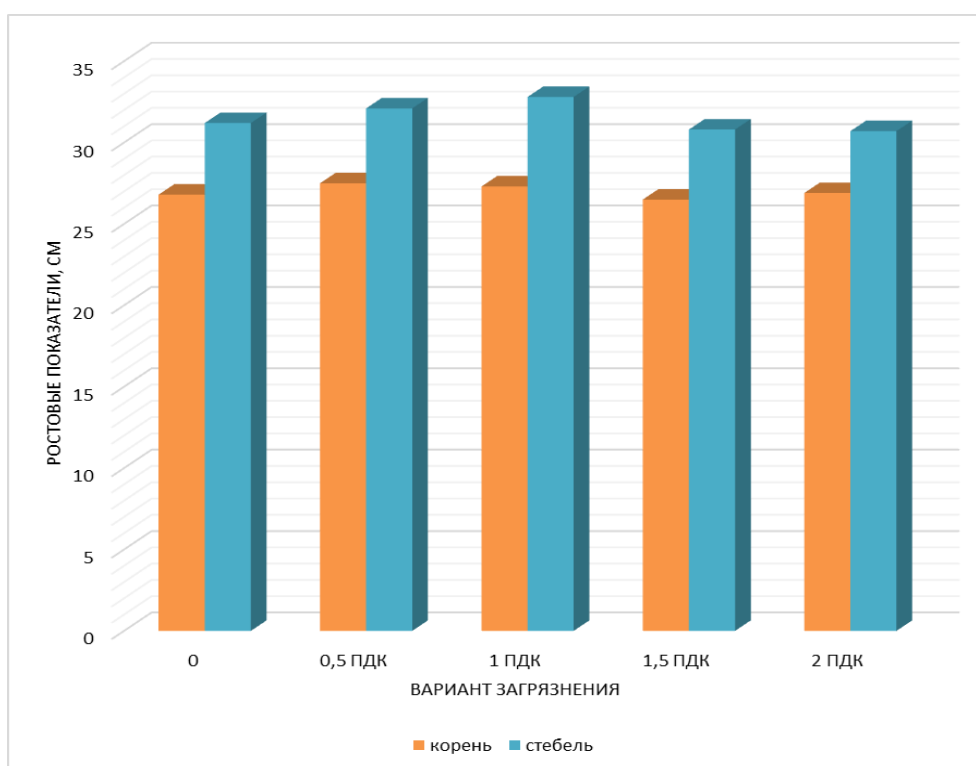


Рис. 2. Влияние загрязнения почвы ионами хрома на ростовые показатели проростков *Brassica napus* L.

При внесении в почву 0,5 ПДК хрома длина стебля проростков *B. napus* увеличилась на 2,3 %, в сравнении с контролем. При дальнейшем увеличении концентрации хрома до 1 ПДК, длина стебля проростков увеличилась на 4,7 %, и только при внесении в почву 1,5 ПДК и 2 ПДК хрома мы наблюдали некоторое уменьшение длины стебля проростков, но данное изменение было статистически недостоверным.

Противоположная тенденция была отмечена при изучении влияния загрязнения почвы ионами хрома на ростовые процессы корневой системы проростков *Ph. tanacetifolia* (рис. 3).

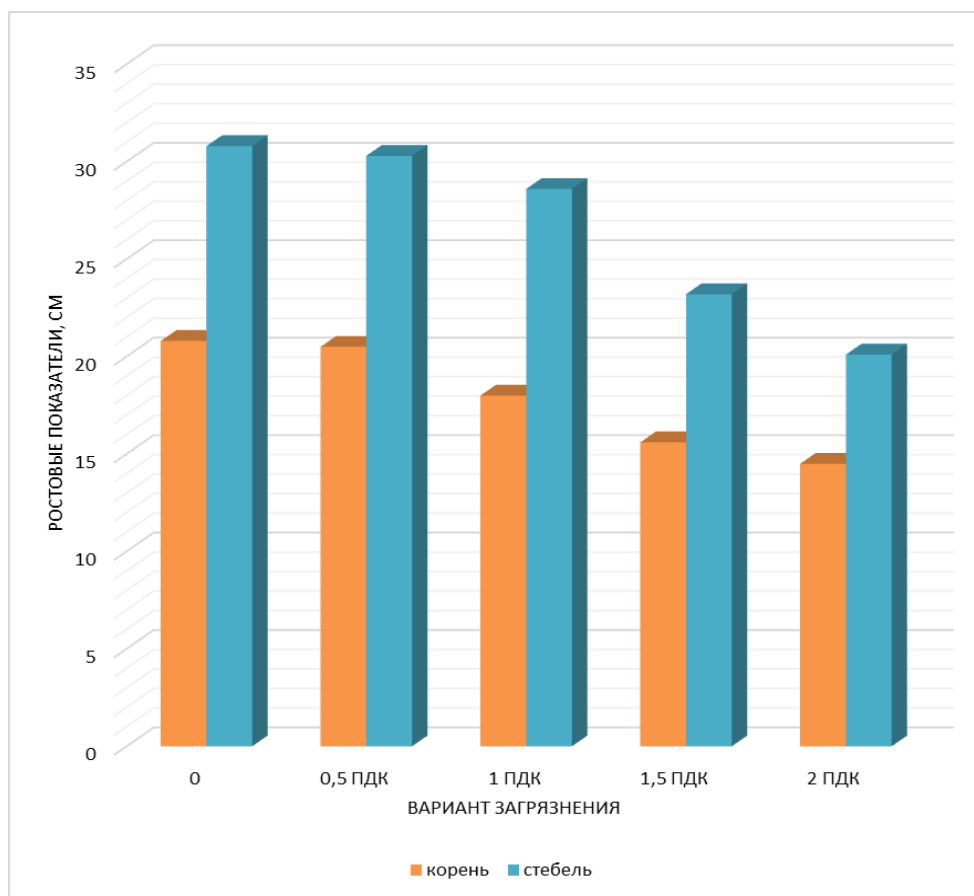


Рис. 3. Влияние загрязнения почвы ионами хрома на ростовые показатели проростков *Phacelia tanacetifolia* Benth.

При внесении в почву 0,5 ПДК хрома длина корня проростков уменьшилась на 2,6 %, а при увеличении поллютанта до 1 ПДК, длина корня снизилась на 13,8 %, в сравнении с контролем. При увеличении концентрации ионов хрома до 1,5 ПДК мы отметили уменьшение длины корня на 23,8 %, а в условиях внесения в почву 2 ПДК хрома длина корня проростков снизилась на 32,7 %.

При внесении в почву 0,5 ПДК хрома длина надземной части проростков *Ph. tanacetifolia* уменьшилась на 3,4 %, а при увеличении концентрации хрома до 1 ПДК, длина стебля проростков снизилась на 17,0 %. Наибольшее негативное влияние было отмечено в условиях внесения в почву 1,5 ПДК и 2 ПДК хрома, где роста стебля растений снизился на 24,6–34,0 % от контроля.

У наиболее чувствительного вида *Ph. tanacetifolia* мы визуально наблюдали угнетение ростовых процессов, которое выражалось в некрозе листьев, уменьшении площади листовой пластины и торможении развития надземной части растений (рис. 4).

Современные исследователи J. Tang [12] и другие [9–11, 13] отметили уменьшение скорости роста стебля у проростков *Camellia sinensis* при действии 6 мг/кг шестивалентного хрома Cr (VI). Они выяснили, что при низкой концентрации шестивалентного хрома (0,05 мг/л) длина побегов *Myriophyllum spicatum* увеличивается, в то время как более высокая концентрация (1 мг/л) угнетает ростовые процессы побегов.



Рис. 4. Реакция ответа проростков *Phacelia tanacetifolia* Benth. на избыток в почве ионов хрома

На накопление сырой массы проростками *R. communis* загрязнение почвы ионами хрома оказывает негативное влияние во всех вариантах исследования (рис. 5).

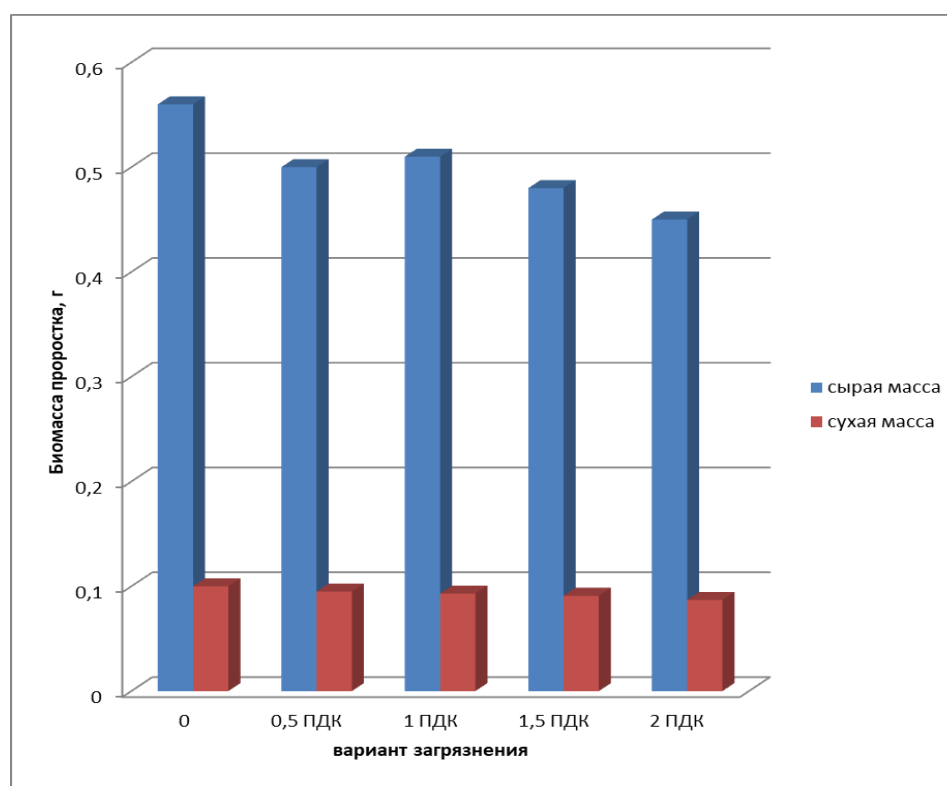


Рис. 5. Накопление биомассы проростками *Ricinus communis* L.

При внесении в почву 0,5 ПДК хрома сырая масса проростков *R. communis* уменьшилась на 9,8 %, а при увеличении концентрации токсиканта до 1,5 ПДК сырая масса проростков снизилась на 14,7 %, в сравнении с контролем. Наибольший токсичный эффект был зафиксирован при внесении в почву 2 ПДК хрома, при котором накопление сырой массы растениями уменьшилось на 23,2 %.

Загрязнение почвы хромом оказывало токсичное влияние и на накопление сухой массы проростками *R. communis*. Так, при внесении в почву 0,5 ПДК хрома, сухая масса проростков уменьшилась на 4,5 %, при увеличении концентрации поллютанта до 1 ПДК, сырая масса проростков уменьшилась на 6,7 %. Наибольшее негативное влияние оказали ионы хрома в концентрации 1,5 ПДК и 2 ПДК – сухая масса проростков уменьшилась на 11,0–12,5 %.

Внесение в почву соединений хрома неоднозначно влияет на накопление биомассы проростками *B. napus* (рис. 6).

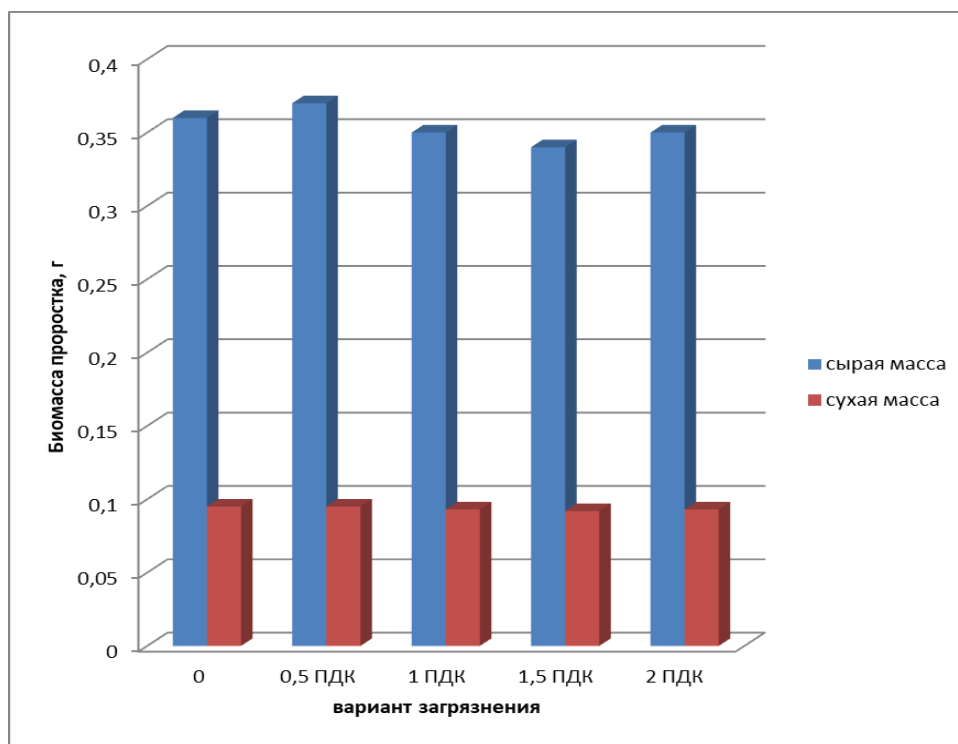


Рис. 6. Накопление биомассы проростками *Brassica napus* L.

На малые концентрации металла (0,5 ПДК) растения реагировали небольшим повышением накопления сырой массы. При внесении в почву ионов хрома в концентрации 1,5 ПДК прослеживалось уменьшение сырой массы проростков на 5,0 %, при увеличении концентрации поллютанта до 2 ПДК сырая масса проростков уменьшилась на 2,7 % в сравнении с растениями, выращенными на незагрязненной почве.

Практически все концентрации ионов хрома не вызывали достоверных изменений накопления сухой массы проростками *B. napus*. Во всех исследованных вариантах данный показатель практически не отличался от контрольного значения.

Внесение в почву ионов хрома оказывает токсичное влияние на накопление сырой биомассы проростками *Ph. tanacetifolia* во всех вариантах загрязнения (рис. 7).

Так, при внесении в почву 0,5 ПДК хрома сырая масса проростков уменьшилась на 8,7 %, при увеличении концентрации токсиканта до 1 ПДК, накопление сырой массы проростками снизилось на 19,0 %. Загрязнение почвы ионами хрома в концентрации 1,5 ПДК привело к снижению накопления сырой массы на 26,1 %, а при внесении 2 ПДК поллютанта сырая масса проростков уменьшилась на 32,0 %, в сравнении с контрольными растениями.

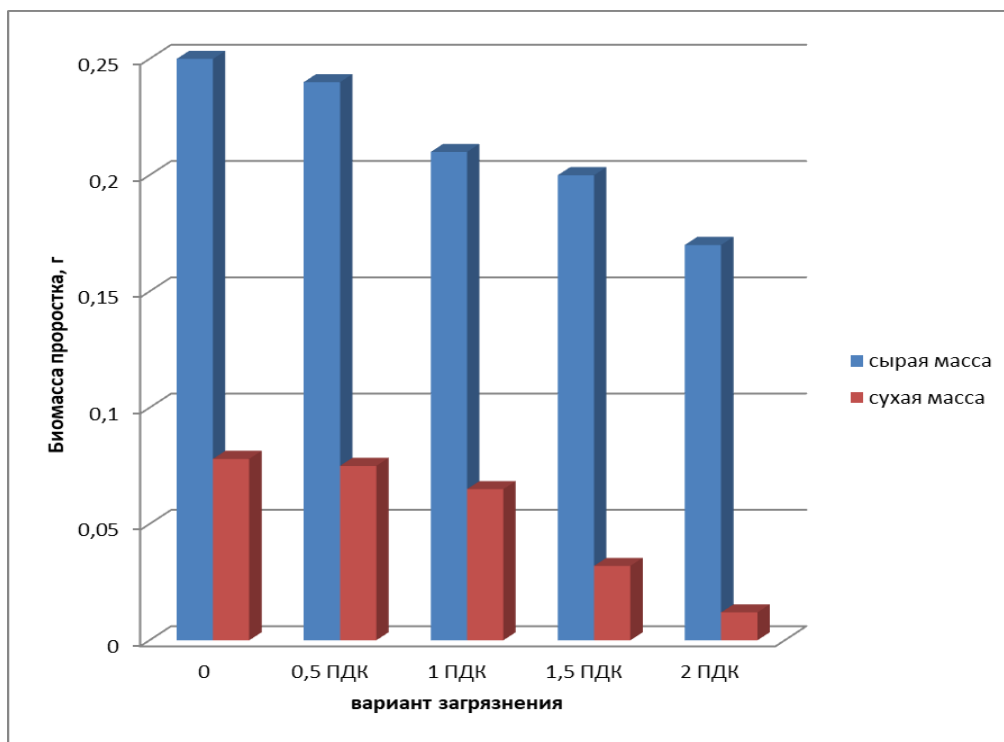


Рис. 7. Накопление биомассы проростками *Phacelia tanacetifolia* Benth.

Аналогичная тенденция была отмечена и при изучении накопления сухой массы проростками *Ph. tanacetifolia*. Так, при внесении в почву 0,5 ПДК хрома, сухая масса проростков уменьшилась на 3,4 %, при увеличении концентрации токсиканта до 1 ПДК, сухая масса растений снизилась на 11,2 %, а при дальнейшем увеличении концентрации хрома до 1,5 и 2 ПДК, сухая масса проростков снизилась в 4–5 раз, в сравнении с растениями, выращенными на незагрязненной почве.

Выводы

Загрязнение почвы соединениями хрома неоднозначно влияет на ростовые процессы изученных видов декоративных травянистых растений. Внесение в почву ионов хрома оказывает угнетающий эффект на длину корня и стебля проростков *Ph. tanacetifolia*. На ростовые показатели проростков *R. communis* и *B. napus* загрязнение почвы хромом не оказывает негативного влияния. Внесение в почву ионов хрома оказывает угнетающий эффект на накопление сырой и сухой массы проростками *Ph. tanacetifolia*. На накопление биомассы проростками *R. communis* и *B. napus* загрязнение почвы хромом не оказывает негативного влияния. По результатам исследований выделены устойчивые к загрязнению почвы виды – *R. communis* и *B. napus*, которые можно рекомендовать для озеленения урбанизированных территорий вокруг промышленных объектов.

Список литературы

1. Akinci I. E., Akinci S. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.) // Afr. J. Biotechnol. 2010. Vol. 9. P. 4589–4594.
2. Amin H., Arain B. A., Amin F., Surhio M. A. Phytotoxicity of chromium on germination, growth and biochemical attributes of *Hibiscus esculentus* L. // Am. J. Plant Sci. 2013. Vol. 4. P. 41–48.
3. Batayneh A. T. Toxic (aluminum, beryllium, boron, chromium and zinc) in groundwater: Health risk assessment // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2012. Vol. 9. P. 153–162.
4. Bhalerao S. A., Sharma A. S. Chromium: As an environmental pollutant // Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 2015. Vol. 4. P. 732–746.

5. Chandra P., Kulshreshtha K. Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants // Bot. Rev. 2004. Vol. 70. P. 313–327.
6. Glick B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment // Biotechnology Advances. 2010. Vol. 21, N 5. P. 383–393.
7. Junior A. M. D., Oliva M. A., Ferreira F. A. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species // Ecological Indicators. 2012. Vol. 8, N 5. P. 454–461.
8. Kramer U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils // Current Opinion in Biotechnology. 2008. Vol. 16, N 2. P. 133–141.
9. McNeill L., McLean J., Edwards M., Parks J. State of the science of hexavalent chromium in drinking water. Denver : Water Research Foundation, 2012. 44 p.
10. Pilon-Smits E., Pilon M. Phytoremediation of metals using transgenic plants // Critical Reviews in Plant Sciences. 2014. Vol. 21, N 5. P. 439–456.
11. Shrivastava R., Upreti R. K., Seth P. K., Chaturvedi U. C. Effects of chromium on the immune system // FEMS Immunol. Med. Microbiol. 2002. Vol. 34. P. 1–7.
12. Tang J., Xu J., Wu Y., Li Y., Tang Q. Effects of high concentration of chromium stress on physiological and bio-chemical characters and accumulation of chromium in tea plant (*Camellia sinensis* L.) // Afr. J. Biotechnol. 2012. Vol. 11. P. 2248–2255.
13. World Health Organization. Chromium in Drinking-water (No. WHO/HEP/ECH/WSH/2020.3); World Health Organization : Geneva, Switzerland, 2020.

Frunze O. V. Changes in morphometric parameters of ornamental herbaceous plants in conditions of soil contamination with chromium ions. – Investigated the effect of soil contamination with chromium ions on the length of the root and stem, as well as the raw and dry mass of seedlings of ornamental herbaceous plants. The conducted studies have shown that the change in growth processes depends both on the concentration of chromium ions in the soil and on the species-specific properties of plants. The length of the root and stem of seedlings *Brassica napus* L. and *Ricinus communis* L. soil contamination with chromium does not have a negative effect. For the length of the root and the aboveground part of the seedlings of *Phacelia tanacetifolia* Benth. contamination of the soil with chromium ions has a depressing effect. The introduction of chromium ions into the soil does not have a negative effect on the accumulation of raw and dry mass by seedlings of *B. napus* and *R. communis*, while even insignificant concentrations of the pollutant cause a decrease in biomass in seedlings of *Ph. tanacetifolia*.

Key words: chrome, ornamental herbaceous plants, morphometric indicators.

© А. В. Чайка

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ
БАЗИДИОМИЦЕТОМ – ПРОДУЦЕНТОМ ЛИГНИНАЗ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: alexander.v.chaika@gmail.com

Чайка А. В. Оптимизация процесса трансформации растительных отходов базидиомицетом – продуцентом лигниназ с целью получения органических удобрений. – Проведена оптимизация состава питательных сред с растительными отходами для культивирования продуцента *Trametes hirsuta* Th-11 путем введения в состав сред дополнительных компонентов (лигносульфонат, раствор микроэлементов, твин-80, мочевины) и подбора их концентрации; оптимизированы условия культивирования продуцента (температура, pH и режим) с целью получения комплекса биологически активных веществ, воздействующего на сельскохозяйственные культуры. Получены фильтраты культуральной жидкости, обладающие ретардантным действием и способствующие развитию корневой системы проростков ржи озимой.

Ключевые слова: растительные отходы, трансформация, органические удобрения, базидиомицеты.

Введение

Для достижения целей по интенсификации земледелия должна применяться научно обоснованная система удобрений, составленная с учетом последних достижений агрохимии. Органические удобрения способны многосторонне воздействовать на систему «почва – микроорганизмы – растение», что обуславливает особую ценность их использования [7, 8]. Они являются важным источником элементов минерального питания для растений, а также служат для восполнения запасов гумуса в почве. Следствием недостаточного внесения на поля органических удобрений становится снижение урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшение качества продукции [5, 8].

Растительные отходы могут использоваться в качестве органических удобрений. Среди их достоинств – высокое содержание углерода и гумусообразующий потенциал, благоприятные физико-химические свойства, высокая сорбционная способность. К основным недостаткам относят иммобилизацию почвенного азота, ингибирование роста растений [1]. Для улучшения свойств и устранения недостатков растительных отходов, применяемых в качестве удобрения, перспективным является проведение микробиологической обработки. При такой обработке происходит деструкция макрокомпонентов лигноцеллюлоз – полисахаридов и лигнина с образованием гуминовых, фульвокислот и гуматов, которые, попадая в почву, постепенно разрушаются, обеспечивая пролонгированное действие удобрения. Также увеличивается количество фосфора и калия в усваиваемой растениями форме, разрушаются токсичные для растений свободные фенольные соединения [1, 4, 7]. Отмечается, что применение в подобных технологиях базидиомицетов может обеспечить более глубокую трансформацию растительных отходов благодаря наличию у них лигниназ [3].

Совершенствование процессов культивирования используемых продуцентов и поиск средств, позволяющих поддерживать их необходимые ростовые и биосинтетические характеристики, – основа получения целевых продуктов биосинтеза.

В связи с этим, цель работы состояла в оптимизации процесса трансформации растительных отходов базидиомицетом *Trametes hirsuta* Th-11 – продуцентом лигниназ с целью получения органических удобрений.

Материал и методы исследования

В работе изучали штамм базидиального ксилотрофа *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11, являющийся перспективным деструктором загрязнителей окружающей среды [10].

В качестве растительного тест-объекта использовали проростки ржи озимой (*Secale cereale* L.) сорта Марусенька.

Исследуемый штамм культивировали глубинным методом на жидкой среде с растительными отходами (древесные опилки акации белой и пшеничная солома) в количестве 8,1 г/л в качестве единственных источников углеродного и азотного питания. Начальный водородный показатель pH среды с древесными опилками составлял $5,45 \pm 0,16$, а среды с пшеничной соломой – $5,89 \pm 0,12$. Процесс глубинного культивирования проводили согласно [10]. Определяли следующие маркерные показатели в конце культивирования (на 6-е сутки роста): абсолютно сухая биомасса субстратно-мицелиального комплекса (АСБ); эффективность окислительной деструкции модельного соединения methyl orange (ЭДМО) фильтратом культуральной жидкости штамма-продуцента и его лакказная активность [9].

Оценку влияния фильтрата культуральной жидкости штамма-продуцента на развитие проростков ржи озимой проводили путем проращивания обработанных семян в чашках Петри на фильтровальной бумаге [2]. Измеряли длину побегов и корней и сухую массу 4-суточных проростков (нормально проросших семян).

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием общепринятых методов статистической обработки результатов биологических экспериментов [6].

Результаты и обсуждение

Исследования динамики скорости биодеструкции древесных опилок и пшеничной соломы штаммом *Trametes hirsuta* Th-11 продемонстрировали значительное изменение скорости биодеструкции субстрата в течение процесса культивирования [9]. Наличие некоторых выявленных негативных тенденций определенно является следствием влияния лимитирующих факторов среды (исчерпание питательных веществ, накопление экзометаболитов, оказывающих ингибирующее действие) и требует проведения оптимизации состава используемых питательных сред и режима культивирования штамма. В связи с этим была проведена оптимизация состава питательных сред с растительными отходами путем введения в состав сред дополнительных компонентов и подбора их концентрации. Компоненты вносили в виде водных растворов в следующих концентрациях: лигносульфонат (1–7 г/л), раствор микроэлементов по Кирку [11] (25–200 мл/л), твин-80 (0,25–2,0 мл/л), мочевины (0,3–1,8 г/л).

При росте исследуемого штамма на среде с древесными опилками установлено, что низкая концентрация лигносульфоната (1 г/л) увеличивает активность лакказы на 19 % и биодеструкции methyl orange на 42 %. Более высокие концентрации лигносульфоната оказывают отрицательное влияние на данные показатели. Влияния лигносульфоната на массу субстратно-мицелиального комплекса не обнаружено.

Добавляемый раствор микроэлементов не оказывал выраженного влияния на лакказную активность, но высокие концентрации микроэлементов стимулировали окислительную деструкцию модельного соединения. Наибольшее воздействие оказало внесение 150 мл/л раствора. В этом варианте данный показатель увеличился на 50 %.

Внесение твин-80 в большинстве концентраций оказывало негативное влияние на исследуемые показатели, при этом масса субстратно-мицелиального комплекса не изменялась. Сильное ингибирующее воздействие на ферментативную активность штамма *T. hirsuta* Th-11 оказывало введение в состав питательной среды мочевины.

При росте исследуемого штамма на среде с пшеничной соломой, внесение лигносульфоната в количестве 5–6 г/л оказывало выраженное положительное действие на ферментативную активность штамма. Так, лакказная активность штамма *T. hirsuta* Th-11 увеличилась на 54 % при росте на среде с лигносульфонатом 6 г/л, ЭДМО – в 4,5 раза – на среде с лигносульфонатом 5 г/л. Также на этой среде была зафиксирована самая низкая абсолютно сухая биомасса субстратно-мицелиального комплекса, что свидетельствует об индукции деструктивной активности штамма лигносульфонатом.

Микроэлементы, внесенные в различных концентрациях в среду с соломой, оказывали

положительное влияние на активность лакказы (до 26 % при концентрации раствора в среде 50 мл/л) и ЭДМО (до 2,1 раза при концентрации раствора в среде 150 мл/л). Небольшое количество твин-80 в среде (0,25 мл/л) приводило к увеличению лакказной активности на 18 %, а 0,5 мл/л – к увеличению окислительной деструкции модельного соединения на 71 %. Внесение мочевины положительного эффекта на исследуемые показатели штамма *T. hirsuta* Th-11 не оказывало.

Необходимым условием при выращивании культур продуцентов является определение оптимальных для роста значений температуры, pH среды и режима культивирования.

Результаты проведенных исследований влияния температуры культивирования на рост и ферментативную активность продуцента *T. hirsuta* Th-11 на средах с растительными отходами показали, что при 40 °С культура практически не росла, а при 15 °С ее метаболизм замедлялся. Оптимальной температурой, стимулирующей деструктивную активность штамма *T. hirsuta* Th-11, является 25-30 °С. При температуре 30 °С наблюдалась самая низкая абсолютно сухая биомасса субстратно-мицелиального комплекса на обеих средах ($6,95 \pm 0,40$ г/л на среде с опилками и $6,64 \pm 0,31$ г/л на среде с соломой). Также при этой температуре отмечен максимум активности лакказы штамма *T. hirsuta* Th-11 при росте на среде с соломой ($33,71 \pm 2,56$ ед.), но для биодеструкции methyl orange оптимальной была температура 25 °С. При этой температуре была установлена наибольшая активность лакказы ($51,93 \pm 2,67$ ед.) штамма *T. hirsuta* Th-11 при росте на среде с древесными опилками. Эффективность окислительной деструкции модельного соединения была на одинаковом высоком уровне как при температуре 25 °С, так и 30 °С.

При исследовании влияния значения pH питательной среды на рост и ферментативную активность продуцента *T. hirsuta* Th-11 на средах с растительными отходами установлено, что наилучшим значением pH среды с опилками для всех исследуемых показателей культуры продуцента было 5,8 (что соответствует 6,0 перед стерилизацией). Остальные значения pH (кроме 4,7), негативно влияли на исследуемые показатели. Для процесса трансформации пшеничной соломы продуцентом оптимальным pH среды было значение 4,7. Здесь также наблюдались максимальные значения ферментативной и деструктивной активности продуцента.

Результаты исследования влияния режима культивирования на процесс трансформации растительных отходов продуцентом *T. hirsuta* Th-11 представлены на рис. 1.

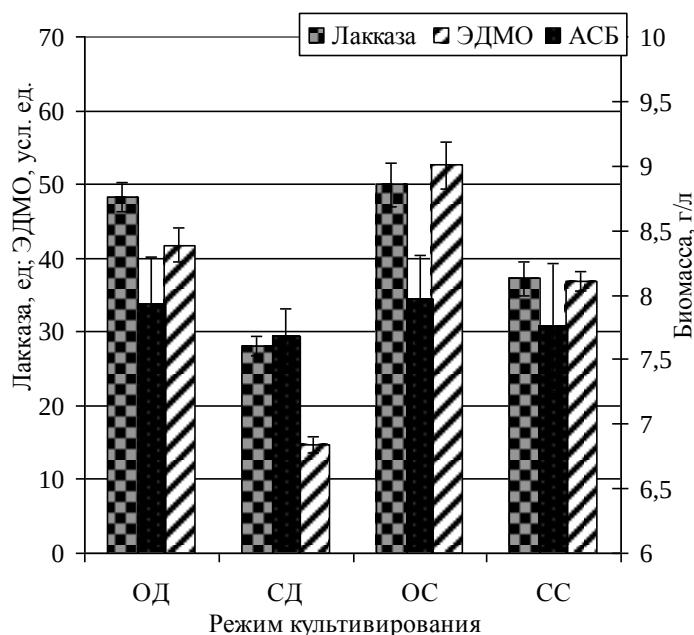


Рис. 1. Влияние режима культивирования на процесс трансформации растительных отходов продуцентом *Trametes hirsuta* Th-11 при росте на средах с древесными опилками в динамических (ОД) и статических условиях (ОС) и пшеничной соломой в динамических (СД) и статических условиях (СС)

Следует отметить, что значительно более высокая ферментативная активность была отмечена при росте штамма на среде с древесными опилками. Наибольшая ферментативная активность установлена при росте штамма *T. hirsuta* Th-11 на среде с древесными опилками в статических условиях. Активность лакказы в этом варианте составила $50,01 \pm 2,96$ ед. Эффективность окислительной деструкции модельного соединения была на уровне $52,60 \pm 3,15$ усл. ед., что на 26 % выше, чем в динамических условиях.

На среде с соломой при статическом режиме ферментативная активность продуцента также была выше, чем в динамических: активность лакказы – на 32 %, эффективность деструкции methyl orange – в 2,5 раза.

Так как лакказа способна синтезировать из компонентов лигнина гуминовые вещества [12], то повышение ферментативной активности штамма *T. hirsuta* Th-11 благодаря оптимизации состава сред с растительными отходами и процесса культивирования может оказать положительный эффект на качество получаемых органических удобрений.

Отсутствие значимой разницы между показателями абсолютно сухой биомассы субстратно-мицелиального комплекса в рассматриваемых вариантах опыта может быть следствием достаточно короткого периода культивирования штамма.

Первичную апробацию культуральной жидкости, содержащей комплекс биологически активных веществ, полученной в результате трансформации растительных отходов при различных режимах культивирования продуцентом *T. hirsuta* Th-11 проводили, оценивая ее влияние на биометрические показатели проростков ржи озимой (*S. cereale*) в начальный период онтогенеза. Срок культивирования штамма-продуцента в данном эксперименте был увеличен до 30 суток.

В результате трансформации продуцентом *T. hirsuta* Th-11 древесных опилок, были получены фильтраты культуральной жидкости, которые оказывали ингибирующее влияние на вытягивание побегов. Это 30-суточный фильтрат при динамическом режиме и 20-суточный при статическом режиме культивирования. При использовании их для обработки семян, средняя длина побегов проростков ржи озимой снижалась соответственно на 22 и 28 % по сравнению с контролем. Длина корневой системы и средняя биомасса проростков были на уровне контроля.

Также были получены фильтраты культуральной жидкости, которые оказывали определенное стимулирующее действие на накопление биомассы проростками ржи озимой. Так, применение 30-суточных фильтратов, полученных при динамическом режиме трансформации пшеничной соломы, приводило к увеличению средней биомассы проростков по сравнению с контролем на 31 %; при статическом режиме трансформации древесных опилок – на 24 %, а пшеничной соломы – на 46 %. Также в последнем случае наблюдалось увеличение средней длины корня на 24 %. Влияние данных фильтратов культуральной жидкости на рост побегов отсутствовало. Следовательно, предварительная обработка семян ржи озимой полученными в результате трансформации растительных отходов штаммом *T. hirsuta* Th-11 фильтратами культуральной жидкости способствуют развитию корневой системы проростков в основном за счет увеличения количества корней и накопления сухой массы.

Выводы

Проведена оптимизация процесса трансформации растительных отходов продуцентом *T. hirsuta* Th-11 с целью получения органических удобрений. Для индукции ферментативной и деструктивной активности штамма целесообразно в среды с древесными опилками вносить 1 г/л лигносульфоната и 150 мл/л раствора микроэлементов по Кирку. В среды с пшеничной соломой целесообразно вносить 5 г/л лигносульфоната, 50 мл/л раствора микроэлементов и 0,25 мл/л твин-80. Процесс трансформации растительных отходов штаммом *T. hirsuta* Th-11 должен проходить при температуре 25–30 °С и начальном pH 5,8 (конверсия древесных опилок) или 4,7 (конверсия пшеничной соломы) в статических условиях.

В результате процесса трансформации растительных отходов продуцентом были

получены фильтраты культуральной жидкости, содержащие регулирующий рост комплекс биологически активных веществ, обладающих ретардантным действием и положительным эффектом на рост корней проростков ржи озимой. Морфорегуляторы подобного действия широко востребованы в растениеводстве.

Проведенное исследование является одним из этапов в разработке технологии получения органических удобрений путем трансформации растительных отходов базидиомицетами.

Список литературы

1. Беловежец Л. А., Волчатова И. В., Медведева С. А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 5–16.
2. Белозерова А. А., Боме Н. А. Изучение реакции яровой пшеницы на засоление по изменчивости морфометрических параметров проростков // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–2. С. 300–306.
3. Васина Д. В. Изучение организации мультигенного семейства лакказ базидиального гриба *Trametes hirsuta* – эффективного деструктора лигнина : Автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.21. М., 2015. 24 с.
4. Волчатова И. В., Медведева С. А., Коржова Л. Ф., Рудых Н. В. Изменение состава гидролизного лигнина в процессе компостирования // Прикл. биохимия и микробиология. 2000. Т. 36, № 3. С. 293–298.
5. Мерзлая Г. Е., Зябкина Г. А., Фомкина Т. П., Козлова А. В., Макишкова О. В., Волошин С. П., Хромова О. М., Панкратенкова И. В. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Агрохимия. 2012. № 2. С. 37–46.
6. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассіопея, 1999. 210 с.
7. Фокин Д. В., Дмитриков А. М., Соколов О. А. Участие микроорганизмов в трансформации гумуса почв // Агрохимия. 1999. № 9. С. 79–90.
8. Хмыров В. Д., Труфанов Б. С., Журавлева О. И. Эффективность системы применения удобрений в органическом земледелии // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (58). С. 14–18.
9. Чайка А. В. Биодеструкция органических отходов штаммом ксилотрофного гриба *Trametes hirsuta* Th-11 // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 103–107.
10. Чайка А. В., Шершень Д. В. Эффективность деструкции красителя methyl orange штаммами ксилотрофных грибов при глубинном культивировании // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 101–107.
11. Kirk K. T., Croan S., Tien M., Murtagh K. E., Farrell R. L. Production of multiple ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*, effect of selected growth conditions and the use of a mutant strain // Enzyme Microbiol. Technol. 1986. Vol. 8. P. 27–32.
12. Munk L., Sitarz A. K., Kalyani D. C., Mikkelsen J. D., Meyer A. S. Can laccases catalyze bond cleavage in lignin? // Biotechnol. Adv. 2015. Vol. 33, № 1. P. 13–24.

Chaika A. V. Optimization of the plant waste transformation process by the basidiomycete producer of ligninases, with the aim to obtain organic fertilizers. – Optimization of the nutrient media with plant waste composition for the producer *Trametes hirsuta* Th-11 cultivation was carried out by introducing additional components (lignosulfonate, microelement solution, tween-80, urea) into the media and selecting their concentration; the conditions for the producer cultivation (temperature, pH and mode) were optimized in order to obtain a complex of biologically active substances that affect agricultural crops. Filtrates of the cultural liquid, with retardant and root system developing effects on winter rye seedlings have been obtained.

Key words: plant waste, transformation, organic fertilizers, basidiomycetes.

© Ю. А. Штирц¹, А. Н. Уразова²

АСИММЕТРИЯ ВЕРХУШКИ И ОСНОВАНИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *BETULA PENDULA* ROTH В УСЛОВИЯХ ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

¹ ГБУ «Донецкий ботанический сад»

283059, РФ, ДНР, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail: yu.shirts@donnu.ru

² ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, РФ, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: nastena.urazova@mail.ru

Штирц Ю. А., Уразова А. Н. Асимметрия верхушки и основания листовой пластинки *Betula pendula* Roth в условиях Донецко-Макеевской городской агломерации. – Проведена оценка асимметрии верхушки и основания листовой пластинки *Betula pendula* Roth в условиях Донецко-Макеевской городской агломерации. Среднее значение коэффициента асимметрии формы верхушки листовой пластинки составляет $0,045 \pm 0,0039$, коэффициента асимметрии формы основания – $0,026 \pm 0,0023$. Значительная корреляции показателей асимметрии с размерами и параметрами формы листовой пластинки *B. pendula* не выявлена, следовательно, асимметрия и размеры, как и асимметрия и форма листовой пластинки, являются проявлением реакции растения на различные экологические факторы.

Ключевые слова: асимметрия, листовая пластинка, *Betula pendula*, биоиндикация, корреляция.

Введение

Изучение морфологических изменений органов растений позволяет проводить биоиндикацию состояния окружающей среды [2]. Показатели асимметрии широко используются при характеристике состояния природных популяций, их динамики и структуры, как обоснование при установлении популяционных границ, для изучения микроэволюционных преобразований, в качестве индикаторов отклонения условий среды от оптимальных в целях биомониторинга и т. д. [6, 18].

В литературе довольно много работ, посвященных исследованиям асимметрии листьев *Betula pendula* Roth [1, 3–5, 8–11, 14, 16, 17, 20, 22–24]. Следует отметить разнообразие методов и подходов к изучению асимметрии листьев данного вида, значительная часть работ содержит информацию о флуктуирующей асимметрии листовых пластинок. Внимания заслуживают также исследования, затрагивающие и иные разновидности асимметрии листовых пластинок *B. pendula*. Так, например, в работе [7] в качестве индикатора экологического состояния природной среды рассмотрено использование асимметрии площадей листовых пластинок *B. pendula*.

Несмотря на значительное количество работ, исследования по данной тематике продолжают оставаться актуальными ввиду того, что проявление показателей асимметрии зависят от множества факторов и имеют свои особенности в каждом конкретном регионе. Представляет интерес также изучение вопросов корреляции показателей асимметрии с иными морфологическими параметрами листовой пластинки ввиду целесообразности оценки использования в целях биоиндикации и биомониторинга.

Целью работы была оценка асимметрии верхушки и основания листовой пластинки *B. pendula* в условиях Донецко-Макеевской городской агломерации.

Выполнение поставленной цели предусматривало решение следующих задач:

- 1) определение средних значений показателей асимметрии верхушки и основания листовой пластинки;
- 2) оценка корреляции показателей асимметрии верхушки и основания с размерами листовой пластинки;
- 3) оценка корреляции показателей асимметрии верхушки и основания с формой листовой пластинки.

Материал и методы исследования

B. pendula является одним из видов древесных растений, используемых для озеленения населенных пунктов различного типа. Участие в насаждениях городов Донбасса составляет 1,8 % [12].

Сбор листьев проводился в условиях Донецко-Макеевской городской агломерации в летние периоды 2021–2022 гг. с растений зрелой стадии генеративного периода. Общий объем выборки составил 440 листьев.

Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О. В. Смирновой и др. [15]. Листовые пластинки были отсканированы. Для оценки показателей асимметрии верхушки и основания листовой пластинки использовались соответствующие коэффициенты: коэффициент асимметрии формы верхушки и коэффициент асимметрии формы основания. Методика расчета указанных коэффициентов описана в работе A. Z. Glukhov, Yu. A. Shtirts [21]. Измерения параметров листовой пластинки проводили в программе TPSDig 2.10.

Для проведения корреляционного анализа показателей асимметрии с размерами и формой листовой пластинки из размерных показателей выбраны значения длины и ширины листовой пластинки в середине ее длины, из показателей формы – числовой индекс формы верхушки и числовой индекс формы основания. В ранее опубликованной нами работе [19] представлены результаты оценки корреляции размеров и формы листовой пластинки *B. pendula*, где приведена ссылка на методику вычисления числовых индексов формы верхушки и основания. Оценка корреляции морфологических параметров листовой пластинки *B. pendula* проведена с использованием коэффициента Пирсона. Предварительно для оценки возможности использования указанного коэффициента корреляции был проведен анализ соответствия распределения исследуемых параметров листовой пластинки закону нормального распределения с использованием критериев Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро–Уилка. Методические подходы к применению и интерпретации указанных статистических параметров взяты из работы О. Ю. Ребровой [13].

Статистическая и математическая обработка проведены с использованием пакета прикладных программ STATISTICA и MS Excel.

Результаты и обсуждение

Среднее значение коэффициента асимметрии формы верхушки листовой пластинки составляет $0,045 \pm 0,0039$, коэффициента асимметрии формы основания – $0,026 \pm 0,0023$ (указан доверительный интервал для $P = 0,05$).

33,6 % общего объема проанализированной выборки составляют листовые пластинки, в которых либо коэффициент асимметрии формы верхушки, либо коэффициент асимметрии формы основания равен нулю. 4,1 % общего объема выборки составляют листовые пластинки, у которых оба из этих показателей асимметрии равны нулю.

Значения коэффициента корреляции показателей асимметрии с размерами листовой пластинки *B. pendula* отражены в табл. 1, с формой – в табл. 2.

Таблица 1

Значения коэффициента корреляции показателей асимметрии верхушки и основания с размерами листовой пластинки *Betula pendula* Roth

Показатели асимметрии Размерные показатели	Коэффициент асимметрии формы	
	верхушки	основания
Длина	- 0,06	0,01
Ширина	- 0,02	0,05

Значения коэффициента корреляции показателей асимметрии верхушки и основания с формой листовой пластинки *Betula pendula* Roth

Показатели асимметрии Размерные показатели	Коэффициент асимметрии формы верхушки	Коэффициент асимметрии формы основания
Числовой индекс формы верхушки	- 0,03	- 0,08
Числовой индекс формы основания	- 0,09	- 0,15

Согласно работе О. Ю. Ребровой [13], корреляция считается слабой, если значение коэффициента корреляции не превышает 0,25. Если значение коэффициента корреляции находится в пределах более 0,25 и менее 0,75, имеет место умеренная корреляция. Значение коэффициента корреляции не менее 0,75 свидетельствует о сильной корреляции.

Принимая во внимание значения коэффициентов корреляции, приведенные в табл. 1 и 2, следует отметить очень низкую корреляцию рассматриваемых показателей асимметрии с размерами и анализируемыми параметрами формы листовой пластинки *B. pendula*.

Таким образом, степень асимметрии листовой пластинки и ее размеры также, как и степень асимметрии и форма, являются проявлением воздействия на растения различных экологических факторов.

Выводы

Среднее значение коэффициента асимметрии формы верхушки листовой пластинки составляет $0,045 \pm 0,0039$, коэффициента асимметрии формы основания – $0,026 \pm 0,0023$. Значительная корреляция показателей асимметрии с размерами и параметрами формы листовой пластинки *B. pendula* не выявлена, следовательно, асимметрия и размеры, как и асимметрия и форма листовой пластинки, являются проявлением реакции растения на различные экологические факторы. Данный факт следует учитывать при проведении биоиндикационных исследований.

Список литературы

1. Беляева Ю. В. Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth в естественных и антропогенных условиях Тольятти // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2013. Т. 23, № 3. С. 167–174.
2. Варданян З. С., Залиян С. А., Байрамян Л. Е. Морфологические изменения растений, как проявление биоиндикации в листьях и стеблях представителей рода *Asparagus* L. // Universum: химия и биология : электрон. науч. журн. 2017. № 11 (41). URL : <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5227> (дата обращения : 16.10.2022).
3. Жуйкова Т. В., Попова А. С., Мелинг Э. В. Сравнительная оценка флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth при разных методах фиксации растительного материала // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 4. С. 58–65. <http://dx.doi.org/10.17816/snv202094109>.
4. Залесов С. В., Зарипов Ю. В., Фролова Е. А. Анализ состояния подроста березы повислой (*Betula pendula* Roth) на отвалах месторождений хризотил-асбеста по показателю флуктуирующей асимметрии // Лесное хозяйство. 2017. № 1 (46). С. 71–77.
5. Звягинцева О. Ю. Оценка качества атмосферного воздуха по величине флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth // Ученые записки ЗабГГПУ. 2012. № 1 (42). С. 87–91.

6. Зорина А. А. Формирование флуктуирующей асимметрии в процессе индивидуального развития *Betula pendula* // Принципы экологии. 2014. № 4. С. 31–52. <http://dx.doi.org/10.15393/j1.art.2014.3901>
7. Иванов В. П., Марченко С. И., Акименков Н. В. Использование асимметрии площадей листовых пластинок *Betula pendula* в качестве индикатора экологического состояния природной среды // Вестник МарГТУ. 2009. № 3. С. 68–74.
8. Калаев В. Н., Игнатова И. В., Третьякова В. В., Артюхов В. Г., Савко А. Д. Биоиндикация загрязнения районов г. Воронежа по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой // Вестник ВГУ. Сер. : Хим. Биол. Фармация. 2011. № 2. С. 168–175.
9. Минакова Е. А., Шлычков А. П., Кустова Л. М. Оценка экологического состояния урбосистемы г. Казань с использованием метода флуктуирующей асимметрии по листовой пластинке березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2013. № 3. С. 96–98.
10. Мурашова Д. В., Сумина А. В. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula*), произрастающей на территории национального парка «Шушенский бор» // Наука без границ. 2018. № 2 (19). С. 72–75.
11. Наумова А. А., Стрельцов А. Б. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере березы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth) // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. № 3. С. 303–311.
12. Поляков А. К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк : «Ноулидж» (донецкое отделение), 2009. 268 с.
13. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М. : Медиа Сфера, 2002. 312 с.
14. Савинцева Л. С., Егошина Т. Л., Ширяев В. В. Оценка качества урбаносреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестник Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле. 2012. Вып. 2. С. 31–37.
15. Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Таронова Н. А., Фаликов Л. Д. Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М. : Наука, 1976. Ч. I. С. 14–43.
16. Собчак Р. О., Афанасьева Т. Г., Копылов М. А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth // Вестник Томского гос. ун-та. 2013. № 368. С. 195–199.
17. Стрельцов А. Б., Наумова А. А., Наумова Т. А. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth) как индикатора определения загрязняющей среды // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2021. № 2. С. 93–98.
18. Хикматуллина Г. Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаносреды // Вестник Удмуртского ун-та. Биол. Науки о Земле. 2013. Вып. 2. С. 48–56.
19. Штирц Ю. А., Уразова А. Н. Оценка корреляции размеров и формы листовой пластинки *Betula pendula* Roth // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. VII Междунар. науч. конф. (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). Т. 3: Биол. и мед. науки, экология / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2022. С. 196–197.

20. Baranov S. G. Use of a geometric morphometric method to determine the developmental stability of *Betula pendula* Roth // Biology Bulletin. 2017. Vol. 44. P. 547–551. <https://doi.org/10.1134/S1062359017050041>
21. Glukhov A. Z., Shtirts Yu. A. Characteristics of the shape asymmetry of leaf tip and base in *Populus nigra* L. under industrial dump conditions // Applied ecology and environmental research. 2015. Vol. 13 (3). P. 819–831. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1303_819831_
22. Lobkov V. T., Vetrova J. V. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* leaves as a bioindicator of aerotechnogenic pollution of agrolandscapes // Vestnik OrelGAU. 2014. Vol. 2 (47). P. 19–22.
23. Popova E. Phytocenological study of environmental quality using the fluctuating asymmetry index *Betula pendula* Roth // Forestry 2020. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. 595. 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012011>
24. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Vol'pert Ya., Korotchenko I., Pervyshina G. Fluctuating asymmetry in morphological characteristics of *Betula pendula* Roth leaf under conditions of urban ecosystems: evaluation of the multi-factor negative impact // Symmetry. 2020. Vol. 12. 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>

Shtirts Yu. A., Urazova A. N. Asymmetry of the apex and base of the leaf blade of *Betula pendula* Roth in the conditions of the Donetsk – Makeevka urban agglomeration. – An assessment of the asymmetry of the top and base of the leaf blade of *Betula pendula* Roth in the conditions of the Donetsk – Makeevka urban agglomeration was carried out. The average value of the coefficient of asymmetry of the shape of the top of the leaf blade is $0,045 \pm 0,0039$, the coefficient of asymmetry of the shape of the base is $0,026 \pm 0,0023$. A significant correlation of asymmetry parameters with the size and shape parameters of the leaf blade of *B. pendula* was not revealed; therefore, the asymmetry and size, as well as the asymmetry and shape of the leaf blade, are a manifestation of the plant's response to various environmental factors.

Key words: asymmetry, leaf blade, *Betula pendula*, bioindication, correlation.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Для публикации в научно-практическом журнале «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона» принимаются не опубликованные ранее научные работы по всем разделам биологии (ботаника, физиология растений, зоология, физиология человека и животных, биофизика и др.), которые касаются проблем экологии и охраны природы.

В печать принимаются научные статьи на русском и английском языках, которые имеют необходимые элементы: постановка проблемы в общем виде и её связь с важнейшими научными и практическими задачами; анализ последних достижений и публикаций, в которых рассмотрена данная проблема и на которые ссылается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, на решение которых направлена данная статья; формулирование цели и постановка задач; изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы из этого исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

2. Статья набирается в редакторе MS Word как документ Word (*.doc, *.docx) или текст в формате RTF (*.rtf). Шрифт – Times New Roman Cyr, размер – 12 пунктов, межстрочный интервал – одинарный; поля со всех сторон – по 2 см; абзацный отступ – 1 см; выравнивание – по ширине, без переносов; колонтитулы – 1,2 см, стиль «Обычный». Страницы рукописи не нумеруются.

Объем статьи (включая иллюстративный материал, таблицы, список литературы, резюме) – 5–16 страниц.

3. Текст статьи должен соответствовать структурной схеме:
УДК (в верхнем левом углу страницы)

Инициалы и фамилия автора (-ов)

Название статьи – ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ

*Полное официальное название учреждения и его почтовый адрес с индексом
(для каждого из авторов, если они представляют разные учреждения)
и адрес электронной почты*

4. Резюме (не более 50 слов) и ключевые слова подаются на русском и английском языках по такому образцу (размер шрифта – 10 пунктов):

Фамилия и инициалы автора (-ов). Название статьи. – Текст, который должен содержать краткое изложение предмета исследований, результатов и выводов.

Ключевые слова: не более 5–8 слов.

5. В тексте статьи выделяют разделы: **Введение, Материал и методы исследования, Результаты и обсуждение, Выводы, Список литературы.**

Благодарности подаются в конце статьи перед списком литературы.

6. **Список литературы** приводится согласно с правилами оформления библиографического списка (ГОСТ Р 7.05-2008).

Фамилии и инициалы авторов выделить курсивом.

Ссылки на литературные источники подаются цифрами в квадратных скобках.

Фамилии авторов в списке литературы размещаются в алфавитном порядке. Названия работ приводятся на языке оригинала.

Следует тщательно выверить соответствие литературных источников в тексте и в списке, проверить правильность названий периодических источников. При цитировании материалов и тезисов конференций, съездов, симпозиумов и др. обязательно указывать место и дату их проведения. При цитировании издания коллектива авторов следует указывать инициалы и фамилию ответственного редактора.

7. Латинские названия *родов* и *видов* необходимо выделить *курсивом*. Первое упоминание любого названия организма должно сопровождаться полным научным (латинским) названием с указанием автора (фамилия полностью) и года опубликования

(например, *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758)), при следующем упоминании фамилия автора и год не приводятся, а название рода можно подавать сокращенно (*P. domesticus*).

8. В тексте, таблицах и списке литературы (там, где необходимо) следует употреблять короткое тире (–), а не дефис (-). Любой знак препинания набирается слитно с предыдущим словом и отделяется от последующего одним пробелом. Текст статьи должен быть тщательно выверен, без орфографических и стилистических ошибок.

9. Таблицы следует набирать в редакторе MS Word, размещать в «книжном», а не в «альбомном» формате, с максимальной насыщенностью информацией в строках. В названиях граф сокращение слов нежелательно. Следует избегать составления слишком громоздких таблиц. Заголовок таблицы оформить по следующему примеру:

Таблица 1

Название таблицы

10. Рисунки, схемы, графики, диаграммы, фотографии в электронной форме должны быть вставлены в текст, сразу после ссылки на них (или на следующей странице). Подписи под рисунками делать в текстовом редакторе MS Word (**Рис. 1. Название**), размер шрифта – 10 пунктов, выравнивание – «по середине». Все элементы текста на графиках и диаграммах должны быть набраны шрифтом Times New Roman Cyr. Фотографии должны быть качественными и контрастными. Объем иллюстративного материала и таблиц не должен превышать 30 % объема статьи.

11. Математические формулы и уравнения приводить с использованием редактора MS Equation 3.0.

12. Сокращения слов, кроме общепринятых, не допускаются или обязательно дается их расшифровка.

13. К статье прилагается заявка с указанием для каждого автора фамилии, имени и отчества (полностью), ученого звания и научной степени, полного названия и адреса организации, где выполнена работа, адреса электронной почты (обязательно!) и контактного телефона.

14. Если статья подается на английском языке, то прилагается её русский вариант.

15. Ответственность за содержание статей и качество рисунков несут авторы.

16. Рукопись проходит независимое анонимное рецензирование специалистами на предмет научной ценности статьи, её соответствия профилю и требованиям журнала. По рекомендации рецензентов редколлегия принимает решение о возможности и условиях опубликования статьи. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактировать текст по согласованию с авторами.

Все материалы направляйте электронной почтой по адресу: **eco-1999@mail.ru**

Адрес редакции:

Биологический факультет ДонНУ,

ул. Щорса, 46, к. 310, г. Донецк, ДНР, Россия, 283050

Отв. секретарь: к.б.н. Штирц Артур Давыдович

Тел.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19

<http://donnu.ru/ecolog>

RULES FOR AUTHORS

1. The scientific and practical journal «Problems of ecology and nature protection of technogenic region» publishes scientific works in all fields of biology (botany, physiology of plants, zoology, physiology of man and animals, biophysics and others) that were not previously published and touches problems of ecology and nature protection.

We accept scientific articles in Russian and English, containing all the necessary elements: general problem statement and its connection with major scientific and practical objectives; analysis of latest achievements and publications on the given problem the author refers to, underlining the parts of the general problem that were not solved before, the article being aimed at solving; formulating the aim and stating tasks; presenting basic research data with full justification of the scientific results obtained; conclusion to this research and prospects for further research in this direction.

2. The article must be typed in MS Word. Font Times New Roman of size 12, single space, 2 cm in all margins; with indentation of 1 cm; justified alignment with no word division; style «Ordinary». Pages of manuscripts must not be numbered.

The length of an article (including illustrations, tables, bibliography, summary) is 5–16 pages.

3. The text of the article should correspond to the following structural scheme:
UDC (in the upper left corner)

Initials and surname of the author(s)

The title of the article – **IN CAPITAL LETTERS**

Full official name of the institution and its mailing address with postal code

(for each author, if they represent different institutions) and e-mail

4. Extended abstract in English (up to 1 page, not longer than 3000 symbols) must be attached to the article. The extended abstract has to be written according to the following example (font size 12):

Surname and initials of the author(s).

The title of the article.

Full official name of the institution and its mailing address with postal code (for each author, if they represent different institutions).

The extended abstract must contain short narration of article structure (including introduction, the purpose and objectives, methods, main results and conclusions), should be original and independent from the article source of information.

Key words: no more than 5–8.

5. The body of the article should contain the following elements: **Introduction, Material and methods of the research, Results and discussion, Conclusions, Bibliographic references.**

Acknowledgements are given at the end of the article before bibliographic references.

6. Latin names of *genus* and *species* should be typed *in italics*. The name of any organism mentioned for the first time should be accompanied with the full scientific (Latin) name with indication of the author (full surname) and publication year (for example, *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758)). Further mentioning doesn't require the author's name and year, and the name can be shortened (*P. domesticus*).

7. The text of the article should be carefully checked, without orthographic errors. Abbreviations of words, except for generally accepted ones, are not permissible or otherwise they must be deciphered.

8. Tables should be made in MS Word. Sheet size – Letter, lines are to be maximally filled with information. Names of the columns should not contain shortened words. You should avoid creating too bulky tables. Table's title should be made as follows:

Table 1

Title of the Table

9. Figures, graphs, diagrams, photos in electronic form should be inserted in the text immediately after the reference to them (or on the next page). The legend is placed under the graph in MS Word (**Fig. 1. Legend**). All the elements of the text in the graphs and diagrams must be typed

in Times New Roman font. The pictures must be of high quality and contrast. The volume of illustrations should not exceed 30% of the article.

10. Mathematical formulas and equations are to be given using MS Equation 3.0.

11. You should enclose to your article the following documents on separate sheets: an application with full names (surname, name and patronymic) of every author, academic status and academic degree, full name and address of the organization, where the work was carried out, e-mail (obligatory!) and contact telephone.

12. The authors bear the responsibility for the article content and the figures quality.

13. The submitted manuscript is anonymously peer-reviewed by experts on the subject of its scientific value, compliance with the requirements and profile of the journal. On the recommendations of the reviewers editorial board makes a decision on the possibility of the article publication. The Editorial Board reserves the right to itself to edit the text as agreed with the authors.

All the materials are to be sent to: **eco-1999@mail.ru**

Editorial office address:

Biological faculty of Donetsk National University
Schorsa Str., 46/310
Donetsk, DPR, Russia, 283050

Managing editor: PhD in biology, Arthur Shtirts

Tel.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19

<http://donnu.ru/ecolog>

ISSN 2077-3366 Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 3–4

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО
РЕГИОНА

2022

№ 3–4

Учредитель: ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ, выданное Министерством информации ДНР:
Серия ААА № 000073 от 21.11.2016 г.

Оригинал-макет: А. Д. Штирц

Адрес редакции:
283050, Россия, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310
Донецкий национальный университет,
биологический факультет

Тел.: +7 (856) 302-09-95; +7 (949) 419-59-19
e-mail: eco-1999@mail.ru

Сайт журнала: <http://donnu.ru/ecolog>